

「マテリアル革新力」に関する 参考資料・データ集

目次

1 . マテリアルの重要性	… 2
2 . マテリアルを取り巻く状況	
(1) 産業界	… 13
(2) アカデミア	… 21
(3) 人材	… 30
(4) 外部環境	
カーボンニュートラルと循環経済	… 48
希少資源	… 58
パンデミック	… 64
3 . 諸外国の動向	… 70
4 . 重要技術領域	
(1) マテリアルズ・インフォマティクス	… 80
(2) 製造プロセス技術	… 84

1 . マテリアルの重要性

重要政府戦略の実現にはマテリアルの革新が不可欠

政府のAI戦略、バイオ戦略、量子戦略、環境戦略において、マテリアルに係る技術課題が多数掲げられているが、いずれもチャレンジングな技術課題であり、産学官のマテリアル関係者が戦略的・一体的に取り組む必要。

AI戦略2019

中核基盤研究開発として、例えば以下の取組を提示

- ・エッジ向けコンピューティング・デバイス（自立型フレキシブルモジュールへ向けた**革新的センサ・アクチュエータ**等の開発、情報処理に係る消費電力性能を従来比10倍以上に向上させる**革新的AIチップ技術の確立**）
- ・クラウド型コンピューティング・デバイス（消費電力がDRAMの数分の1以下、記憶容量は100倍以上の**ストレージクラスメモリの開発**）
- ・産学官における**計算科学・AIを用いた材料研究開発**

バイオ戦略

市場領域（計9つ）として、例えば以下の領域・取組を提示

高機能バイオ素材（軽量性、耐久性、安全性）

- ・持続可能な炭素循環社会の実現は世界共通の課題。軽量強靱なバイオ素材に対するニーズの大幅拡大が予想。我が国は素材技術及びその利用領域に強み。**生産培養技術を強化することで素材開発を促進し世界市場を開拓。**

バイオプラスチック（汎用プラスチック代替）

- ・化石資源に依存しないプラスチック製造が実用化していないこと、廃プラスチック有効利用率の低さ、海洋プラスチックごみ等による環境汚染が世界的課題。我が国の豊富な遺伝資源と競争力ある素材物性情報はバイオプラスチックの開発において有望資源。**バイオプラスチック、生分解性プラスチックの開発促進等により世界市場を開拓。**

有機廃棄物・有機排水処理

- ・世界の廃棄物の急激な増加、環境問題の深刻化に対応する環境浄化関連市場の大幅な拡大が予想。**高付加価値を有する物質・素材等への転換を図るバイオを活用した資源循環システムの構築等により、市場を獲得・拡大。**

バイオ医薬・再生医療・細胞治療・遺伝子治療関連産業

バイオ関連分析・測定・実験システム

量子技術イノベーション戦略

主要技術領域における国内外の動向：

量子コンピュータ・量子シミュレーション

- ・ゲート型量子コンピュータを実現する基盤技術の中で、**超伝導量子ビット**は我が国発の技術であり、有力候補の一つとなっている。我が国は、高品質な超伝導量子ビットの作製・制御に関しては、世界と比肩する高い技術力を保持しており、かつ、国際的にも高く評価されている著名な研究者が存在する。
- ・**シリコン量子ビット**は、既存の半導体集積技術を応用し、多量子ビット化に向けて注目が集まるなど、国際的にも研究開発競争が激化している。
- ・**量子シミュレーション**は、**多体電子系等のシミュレーションにより、物質の機能解明や新物質探索への貢献**が期待されており、欧米や中国との間で研究開発競争が拡大している。我が国においても国際的に評価の高い研究者が存在する。

量子計測・センシング

- ・**固体量子センサ**（ダイヤモンドNV中心等）は、室温・大気中において、磁場、電場、温度を、それぞれ超高感度で計測できる特長があり、センサ材料の中でも特に競争が激しい分野である。我が国は、固体量子センサの材料開発で高い技術力を保持している。

量子マテリアル（量子物性・材料）

- ・**量子状態を精密制御することで機能を発現する物性・材料「量子マテリアル」**は、我が国が長年にわたる基礎研究・応用研究の積み重ねにより、理論・実験・材料開発等において、世界的にも強み・競争力を有する領域である。
- ・**グラフェン等のトポロジカル量子物質**は、高効率なスピン・電荷変換等の実現を通じて、省エネデバイスや新物性材料等への応用が期待される物質材料であり、将来の産業波及効果が高い技術領域とされている。
- ・**スピン流を利用可能な材料（スピン流材料）**は、単一デバイスで熱、振動、光等からエネルギーを獲得するスピントロニクスデバイスに利用することが可能な革新材料と期待されている。スピントロニクス技術は、我が国の大学・研究機関等が、長年の基礎研究等の蓄積を有する技術領域である。

重要政府戦略の実現にはマテリアルの革新が不可欠（2）

革新的環境イノベーション戦略

全5分野について、重要かつ共通的な16の技術課題及びGHG削減量が大きく、日本の技術力による大きな貢献が可能な39テーマとして、例えば以下の取組を提示

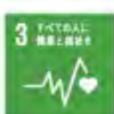
- ・エネルギー転換
- 1．再生可能エネルギーを主力電源に
設置場所の制約を克服する柔軟・軽量・高効率な太陽光発電の実現
・ペロブスカイト系（軽量、曲面追従、鉛フリー等）、次世代タンデム型、**異族系**など、要素技術開発フェーズにある革新的なデバイス・素材等について、2030年頃の社会実装開始を目指し、産学官の連携の下で研究開発を進める。
- 2．デジタル技術を用いた強靱な電力ネットワークの構築
再生可能エネルギーの主力電源化に資する**低コストな次世代蓄電池の開発**
高効率・低コストなパワーエレクトロニクス技術等の開発
・既存用途よりは高い耐圧が求められる車載・産業用途や、より高速動作が求められる通信機器用途のために、シリコンデバイスの新構造化技術や、炭化ケイ素や窒化ガリウムといった次世代パワー半導体の開発に取り組んできたところ、引き続き、**窒化ガリウム等の次世代パワー半導体の高性能化技術や低コスト化技術の開発**に取り組む。
- 3．低コストな水素サプライチェーンの構築
輸送・貯蔵：圧縮水素、液化水素、有機ハイドライド、アンモニア、水素吸蔵合金等の輸送・貯蔵技術の開発
・モビリティ、水素発電、産業利用等を想定した**水素輸送・貯蔵（圧縮水素、液化水素、有機ハイドライド、アンモニア、水素吸蔵合金等）の技術開発**を行う。
 - ・運輸
- 6．多様なアプローチによるグリーンモビリティの確立
自動車、航空機等の電動化の拡大（高性能蓄電池等）と環境性能の大幅向上
<自動車> 電動車（BEV, PHEV, HEV, FCEV）の実現に向け、**高性能蓄電池、モーター、インバーター（次世代パワー半導体等）、燃料電池、部材軽量化等**の様々な要素技術の開発、実用化段階にある技術の実証を進める。

<航空機> 次世代電動航空機に求められる軽量・高出力を満たす**コア技術（モーター、蓄電池、パワエレ、装備品等）の開発、実証**を進める。また、燃費向上に資する**機体やエンジンの材料軽量化等の開発**を進める。

- 燃料電池システム、水素貯蔵システム等水素を燃料とするモビリティの確立
カーボンリサイクル技術を用いた既存燃料と同等コストの**バイオ燃料・合成燃料製造や、これら燃料等の使用に係る技術開発**
- ・産業
 - 7．化石資源依存からの脱却
プラスチック等の高度資源循環技術の開発
・回収されたプラスチック製品を 汚れや複合品などの品質に応じて最適に循環させる、要素技術段階から実用化技術段階にある**高度選別・高物性材料再生・基礎化学品化・高効率エネルギー循環などの基盤技術を開発**する。加えて、**海洋生分解性プラスチックの海洋での生分解機構の解明を通じ、多様な用途に利用できる革新的な新素材を開発**するとともに、安全性の評価手法の確立と国際標準化により、それらの普及を促進する。
 - 8．カーボンリサイクル技術によるCO₂の原燃料化など
 - ②④ 低コストメタネーション（CO₂と水素からの燃料製造）技術の開発
 - ・業務・家庭・その他・横断領域
 - 9．最先端のGHG削減技術の活用
 - ②⑤ 未利用熱・再生可能エネルギー熱利用の拡大
 - ・農林水産業・吸収源
 - 13．最先端のバイオ技術等を活用した 資源利用 及び 農地・森林・海洋へのCO₂吸収・固定
 - ③① バイオマスによる原料転換技術の開発
 - ・**改質リグニン、CNF等の用途拡大**に向けた量産・低コスト製造技術の開発を進める。

SDGs達成にはマテリアルの革新が不可欠

SDGsに関して、マテリアルの革新なしには達成できない目標が数多く含まれている。

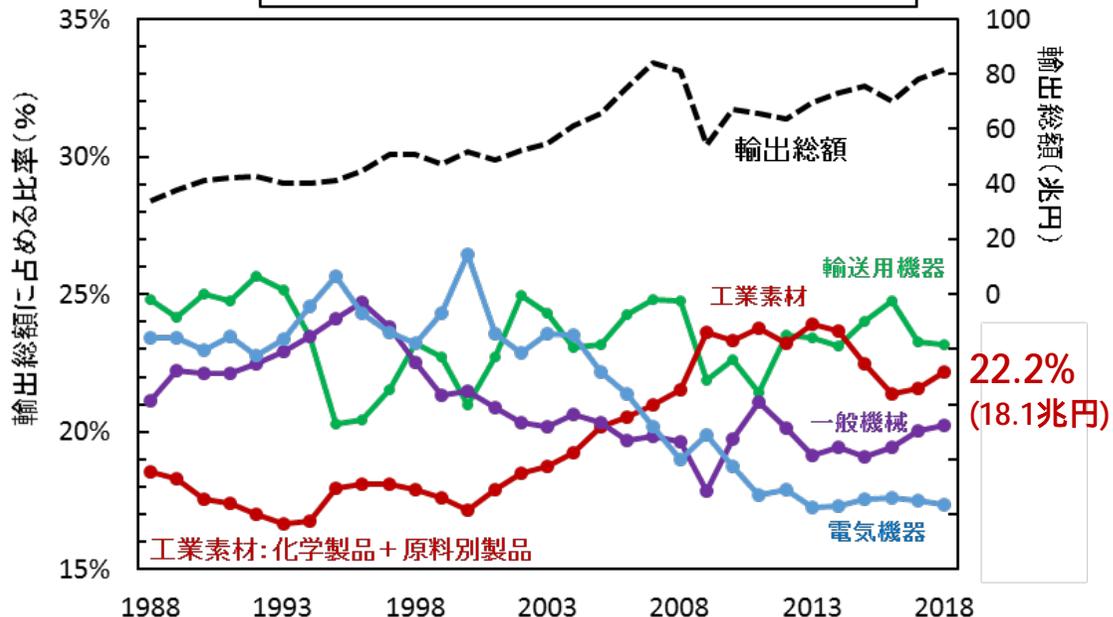
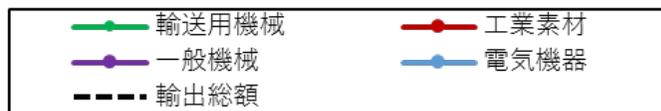
<p>貧困の撲滅</p> 	<ul style="list-style-type: none"> 衣: 合成繊維(ナイロン、ポリエステル、など) 食: 脱脂粉乳、人工甘味料、など 住: 合板(ベニヤ、木質ボード) 	<p>製造消費</p> 	<ul style="list-style-type: none"> 大量生産: オートメーション、ロボット 消費: 迅速な大量輸送(道路、輸送機器)
<p>飢餓の撲滅</p> 	<ul style="list-style-type: none"> ナノ食材(吸収性・安定性・溶解性向上、食味改善、など) 衛生技術(ナノバブルを用いた殺菌・滅菌・洗浄、など) 	<p>気候変動</p> 	<ul style="list-style-type: none"> (衛星搭載)地球観測センサ スーパーコンピュータ(地球シミュレータ)
<p>健康と福祉</p> 	<ul style="list-style-type: none"> バイオチップ(診断デバイス) ナノドラッグデリバリーシステム ウェアラブルデバイス 人工感覚器 生体材料(再生医療材料) 	<p>海洋資源</p> 	<ul style="list-style-type: none"> 計測技術 レアメタル、レアアース
<p>水とトイレ</p> 	<ul style="list-style-type: none"> 逆浸透膜 イオン交換材料 ゼオライト吸着材料 ナノ多孔質材料 光触媒 	<p>陸上資源</p> 	<ul style="list-style-type: none"> 木質耐火材 レアメタル・レアアース活用 バイオマス(燃料・素材)
<p>エネルギー クリーン</p> 	<ul style="list-style-type: none"> 電子エネルギー変換 太陽電池、LED、熱電変換、など 化学エネルギー変換 光触媒、燃料電池、二次電池、など 発電用材料 タービンブレード用超耐熱材料、など エネルギー輸送・転換材料 超伝導材料、磁気冷凍材料、永久磁石材料、軟磁性材料、パワー半導体、アクチュエータ、など バイオ燃料 バイオエタノール、廃棄物利用、など クリーンプロセッシング 吸着材料、分離膜、排ガス触媒、など 	<p>産業 技術革新</p> 	<ul style="list-style-type: none"> ◎技術革新=材料イノベーション <ul style="list-style-type: none"> 鉄鋼⇒蒸気機関、鉄道、アルミ⇒大型航空機 シリコン⇒半導体、炭素⇒プラスチック ◎次のナノテク・材料発イノベーション <ul style="list-style-type: none"> 半導体(グラフェン、カーボンナノチューブ、など) 原子スイッチ <ul style="list-style-type: none"> ➢ Beyond CMOS(CMOSと異なる動作原理、その物理限界を超える性能。スピントロニクス、など)
<p>労働 経済成長</p> 	<ul style="list-style-type: none"> 産業用ロボット・ロボットスーツ(軽量化材料) ナノセンサ・アクチュエータ 	<p>不平等の是正</p> 	<ul style="list-style-type: none"> パソコン、インターネット 輸送網(道路、輸送車両…)
		<p>持続可能都市</p> 	<ul style="list-style-type: none"> ◎建築土木資材 <ul style="list-style-type: none"> 鉄鋼 コンクリート プラスチック

【出典】第10期ナノテクノロジー・科学技術委員会(第4回)中山智弘氏(JST/CRDS)発表資料
(2018.2.16ナノテクノロジー総合シンポジウム 岸輝雄 外務大臣科学技術顧問発表資料をJST/CRDSが改変)

マテリアルは日本の輸出産業の要

我が国の輸出総額（2018年：81兆円）のうち「工業素材」が「輸送用機器(自動車等)」と並んで2割を超える。また、約30年間の輸出品目の推移においても、部素材関係が常に上位（一定の輸出割合）を占めている。

輸出総額に占める概況品各分野の比率



【出典】財務省「貿易統計（概況品）」を基に文部科学省作成

輸出上位10品目の推移

順位	1990年 輸出総額 41兆4,569億円	2000年 輸出総額 51兆6,542億円	2010年 輸出総額 67兆3,996億円	2018年 輸出総額 81兆4,768億円
1	自動車 17.8%	自動車 13.4%	自動車 13.6%	自動車 15.1%
2	事務用機器 7.2%	半導体等電子部品 8.9%	半導体等電子部品 6.2%	半導体等電子部品 5.1%
3	半導体等電子部品 4.7%	事務用機器 6.0%	鉄鋼 5.5%	自動車の部分品 4.9%
4	映像機器 4.5%	科学光学機器 5.1%	自動車の部分品 4.6%	鉄鋼 4.7%
5	鉄鋼 4.4%	自動車の部分品 3.6%	プラスチック 3.5%	原動機 3.6%
6	科学光学機器 4.0%	原動機 3.2%	原動機 3.5%	半導体等製造装置 3.3%
7	自動車の部分品 3.8%	鉄鋼 3.1%	船舶 3.3%	プラスチック 3.1%
8	原動機 2.7%	映像機器 2.7%	科学光学機器 3.0%	科学光学機器 2.8%
9	百貨機器 2.3%	有機化合物 2.3%	有機化合物 2.6%	電気回路等の機器 2.6%
10	通信機 2.1%	プラスチック 2.0%	電気回路等の機器 2.6%	有機化合物 2.5%

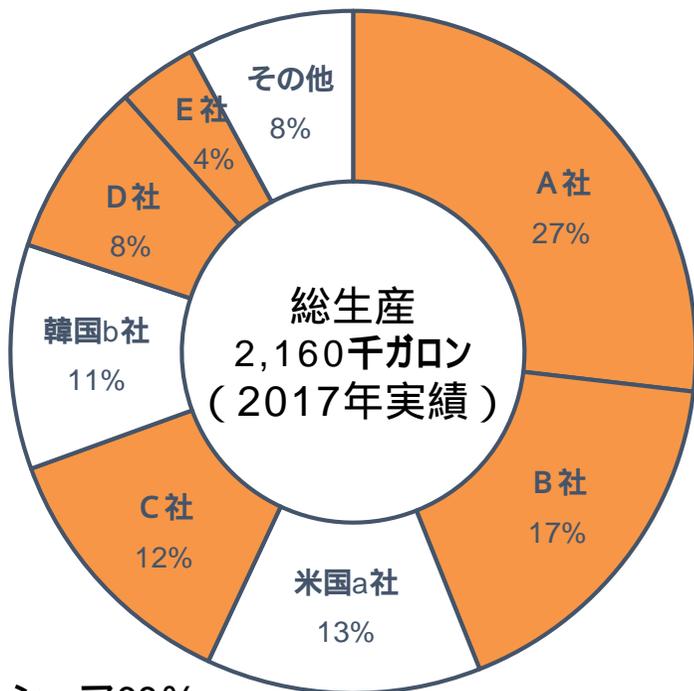
【出典】日本貿易会「本貿易の現状と課題」

日本の”ものづくり”の強み

- 1 ユーザー企業ごとに全工程カスタマイズされていて綿密なすり合わせが必要なフォトレジストでは、日本シェアは約7割であり、日本の高度なプロセス技術の賜物。
- 1 他方、プロセス技術を製造装置で補完できてしまう材料については、高度な装置を使うことで容易に製造することが可能であり、海外勢の追い上げが激化している状況。

シェアを維持している例

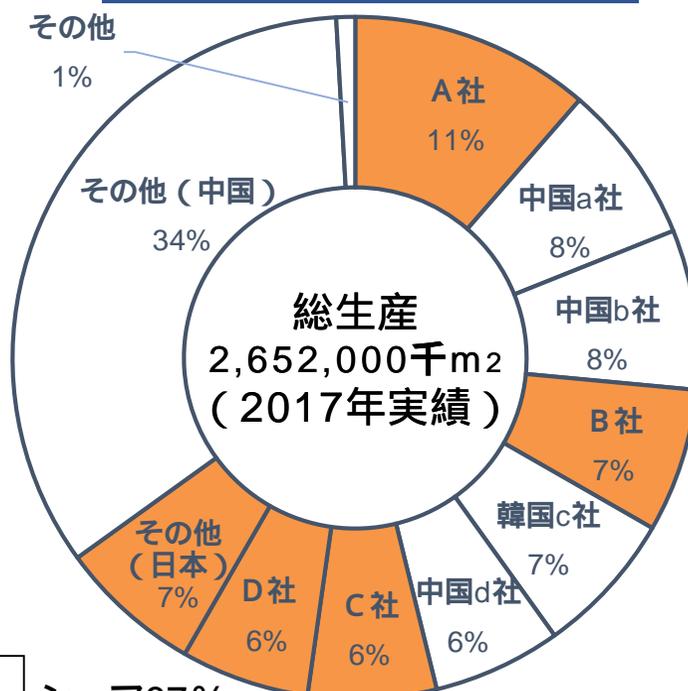
フォトレジスト



(出典) 富士経済出版「2018年半導体材料市場の現状と将来展望」
をもとに経済産業省が作成

海外勢の追い上げが激しい例

リチウムイオン二次電池用セパレータ



(出典) 富士経済出版「2018年電池関連市場実態総調査No.3」
をもとに経済産業省が作成

マテリアル系のノーベル賞研究は社会を変革

我が国では、自然科学系でこれまで24人がノーベル賞を受賞しており、その約半数がマテリアル関連研究での受賞。注目すべきは、マテリアル関連の受賞者全員について、受賞対象となる研究成果が、社会実装を経て大きな社会変革にまでつながったという点。

受賞年	氏名（受賞時年齢）	部門	対象研究
1949	湯川 秀樹 (42)	物理学賞	核力の理論的研究に基づく中間子の存在の予想
1965	朝永 振一郎 (59)	物理学賞	量子電磁力学の分野における基礎研究と素粒子物理学についての深い結論
1973	江崎 玲於奈 (48)	物理学賞	半導体内および超伝導体内の各々におけるトンネル効果の実験的発見
1981	福井 謙一 (63)	化学賞	化学反応過程の理論的研究
1987	利根川 進 (48)	生理学・医学賞	抗体の多様性に関する遺伝的原理の発見
2000	白川 英樹 (64)	化学賞	導電性高分子の発見と発展
2001	野依 良治 (63)	化学賞	キラル触媒による不斉反応の研究
2002	小柴 昌俊 (76)	物理学賞	天体物理学、特に宇宙ニュートリノの検出に対するパイオニア的貢献
2002	田中 耕一 (43)	化学賞	生体高分子の同定および構造解析のための手法の開発
2008	南部 陽一郎 (87)	物理学賞	素粒子物理学における自発的対称性の破れの発見
2008	小林 誠 (64)	物理学賞	小林・益川理論とCP対称性の破れの起源の発見による素粒子物理学への貢献
2008	益川 敏英 (68)	物理学賞	
2008	下村 脩 (80)	化学賞	緑色蛍光タンパク質（GFP）の発見と生命科学への貢献
2010	根岸 英一 (75)	化学賞	有機合成におけるパラジウム触媒クロスカップリング反応の開発
2010	鈴木 章 (80)	化学賞	
2012	山中 伸弥 (50)	生理学・医学賞	成熟細胞が、初期化され多能性を獲得し得ることの発見
2014	赤崎 勇 (85)	物理学賞	明るく省エネルギーの白色光源を可能にした効率的な青色発光ダイオードの発明
2014	天野 浩 (54)	物理学賞	
2014	中村 修二 (60)	物理学賞	
2015	大村 智 (80)	生理学・医学賞	線虫の寄生によって生じる感染症に対する画期的治療法の発見
2015	梶田 隆章 (56)	物理学賞	ニュートリノが質量を持つことの証拠であるニュートリノ振動の発見
2016	大隅 良典 (71)	生理学・医学賞	オートファジー（自食作用）のメカニズムの解明
2018	本庶 佑 (76)	生理学・医学賞	負の免疫制御の抑制によるがん治療の発見
2019	吉野 彰 (72)	化学賞	リチウムイオン電池の開発

【出典】文部科学省作成

社会を変えた我が国発の研究成果が沢山

今後のノーベル賞受賞も期待できるような、大きな社会的・経済的インパクトをもたらしたマテリアルの研究成果事例が数多く存在。

磁石

本多光太郎（世界初合成磁石@1917）
佐川真人（世界最強の永久磁石@1984）
→**モーター、電気自動車、風力発電、HDD**

炭素繊維強化複合材料

進藤昭男（PAN系炭素繊維@1961）
→**航空機・自動車用CFRP**

光触媒

本多健一、藤嶋昭（TiO₂光触媒@1968）
橋本和仁（@1994）
→**光触媒コーティング、環境浄化**

触媒（有機合成）

根岸英一、鈴木章（カスカップリング@1970年代）
野依良治（不斉合成反応@1986）
→**創薬、農薬、香料、アミノ酸**

スピントロニクス

岩崎俊一（垂直磁気記録方式@1977）
宮崎照宣（TMR素子室温動作@1995）
湯浅新治（MgOバリアで巨大MR@2004）
→**超高密度磁気ストレージ、MRAM**

リチウムイオン電池

水島公一（正極材料の提案@1980）
吉野彰（負極材料・構造提案@1980年代）
→**ポータブル電子機器、自動車電源**

超伝導材料

前田弘（Bi系110K、線材応用@1988）
秋光純（40K金属系@2000）
細野秀雄（32K鉄系@2008）
→**超電導線材、超高磁場NMR**

青色LED, LD

赤崎勇、天野浩（GaN単結晶、p型@1989）
中村修二（高輝度青色LED、LD@1993）
→**LED照明、ディスプレイのバックライト、信号機**

カーボンナノチューブ

飯島澄男（カーボンナノチューブ発見@1991）
遠藤守信（CVDによる大量合成@1988）
→**Liイオン電池材料、太陽電池**

酸化物材料

細野秀雄（IGZO材料、TFT動作@2004）
→**透明電極、LCD・OLEDディスプレイ駆動TFT**

マテリアルの重要技術領域とその活用例

モビリティ



- ・構造部材（CFRP、CNF、マルチマテリアル）
- ・電池（Liイオン電池、全個体電池）
- ・モーター（ネオジム磁石）
- ・パワー半導体（GaN）等

エネルギー



- ・ペロブスカイト型太陽電池
- ・電池（正極材/負極材/セパレータ/電解質）
- ・熱電変換素子 等

デバイス・センサー



JST HPより転載
（人間と調和する
有機デバイス）

- ・ディスプレイ（有機EL）
- ・コンデンサ（半導体）
- ・電池（Liイオン電池）
- ・各種センサ 等

- ・ **デバイス機能**：MEMSデバイス、アクチュエータ等
- ・ **量子・電子制御**：量子センサ等
- ・ **エネルギー変換**：太陽電池、高性能モーター等
- ・ **極限機能**：超耐熱材料、軽量・高強度材料等
- ・ **マルチマテリアル化技術**：異種材料接着・接合等
- ・ **バイオ・高分子**：生分解性・バイオプラ等
- ・ **ナノスケール材料**：ナノカーボン、ナノ多孔体等

- ・ **マテリアルの高度循環のための技術**
資源代替・使用量削減・易分別設計等

+

共通基盤技術

MI、計測・分析、スマートラボ、
製造プロセス、安全性評価技術等

食料



- ・農薬原体、農業資材
- ・食品包装（生分解・バイオプラ）等

日本の強み

主な課題

産
業

- 汎用品から機能性製品に至るまで、多様な企業群が国内に集積
- 優秀な人材等に支えられた、高い製品開発力
- 環境問題に対する、高い適応力
- 現場技術者のレベルの高さ、QC活動等に支えられた現場改善力の高さ
- 各社が多様で質の高いデータを保有
- 川下産業との距離の近さによる、作り込み（すり合わせ）開発の容易さ

- × 地球温暖化問題の深刻化
- × 環境負荷低減、資源循環といった環境問題に対する、市民・社会の意識の高まり
- × 汎用製品のコモディティー化による、価格競争の激化
- × 機能性製品の開発サイクルの短期化と開発競争の激化
- × 原料調達における国際競争の激化
- × データやAIを活用した研究開発の拡大
- × 新たなバイオ技術を用いた製品・プロセス開発の加速
- × お客様の多様化・ニーズの変化 など

学
界

- 論文の量・質両面で、世界トップレベルを維持
- 世界的に有名な拠点・研究者の存在
- 常に一定数の学生・研究者を確保
- 産業界と学界の距離の近さ

- × 新興国等における積極的な研究開発、海外の研究レベルの向上
- × 博士課程の日本人学生の激減と海外留学生の大幅増
- × 教員の高齢化、施設・設備の老朽化 など

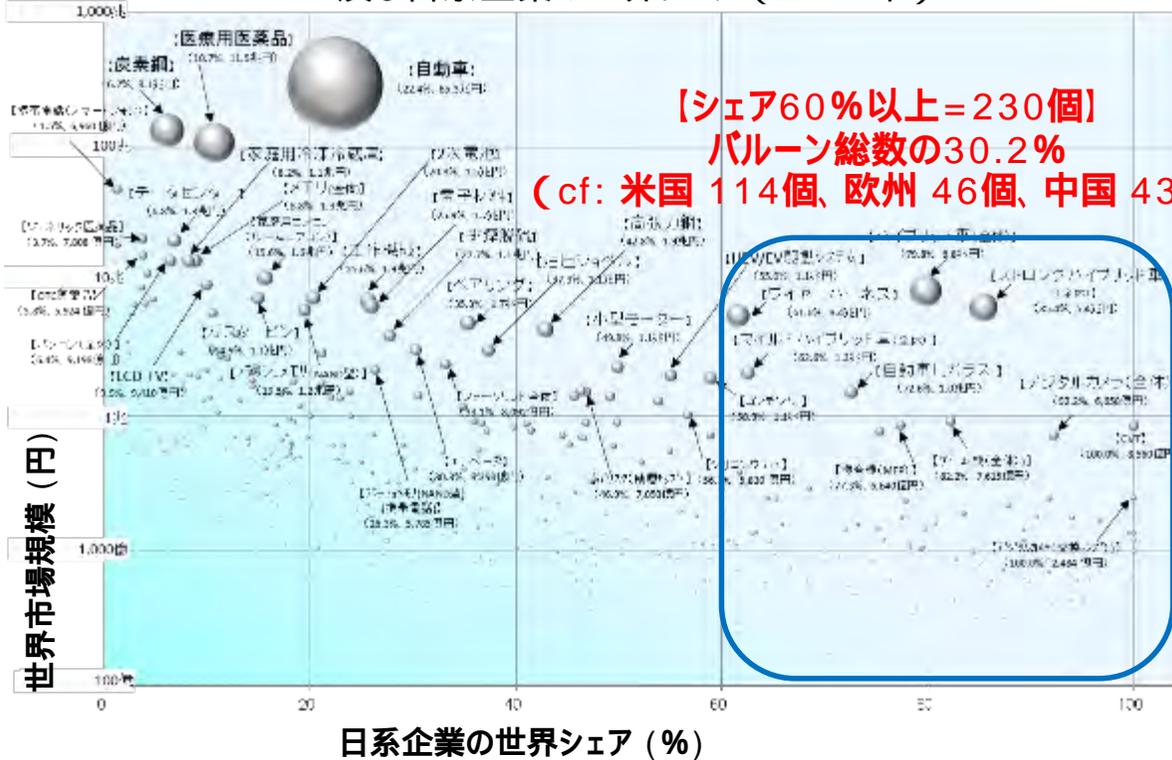
2 . マテリアルを取り巻く状況

(1) 産業界

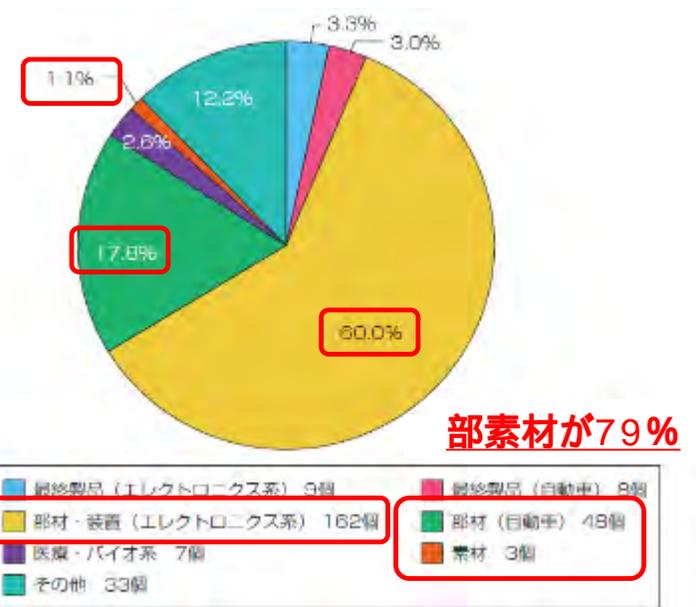
高い世界シェアを持つ製品の多くは部素材

日本企業が生み出す製品群のうち、世界シェア60%以上を誇る製品が約3割を占める。この高い世界シェアを持つ製品のうち約8割が部素材関係である。

日系企業が生み出した主要先端製品・部材の世界市場規模
及び日系企業の世界シェア（2017年）



シェア60%以上を誇る製品群の内訳



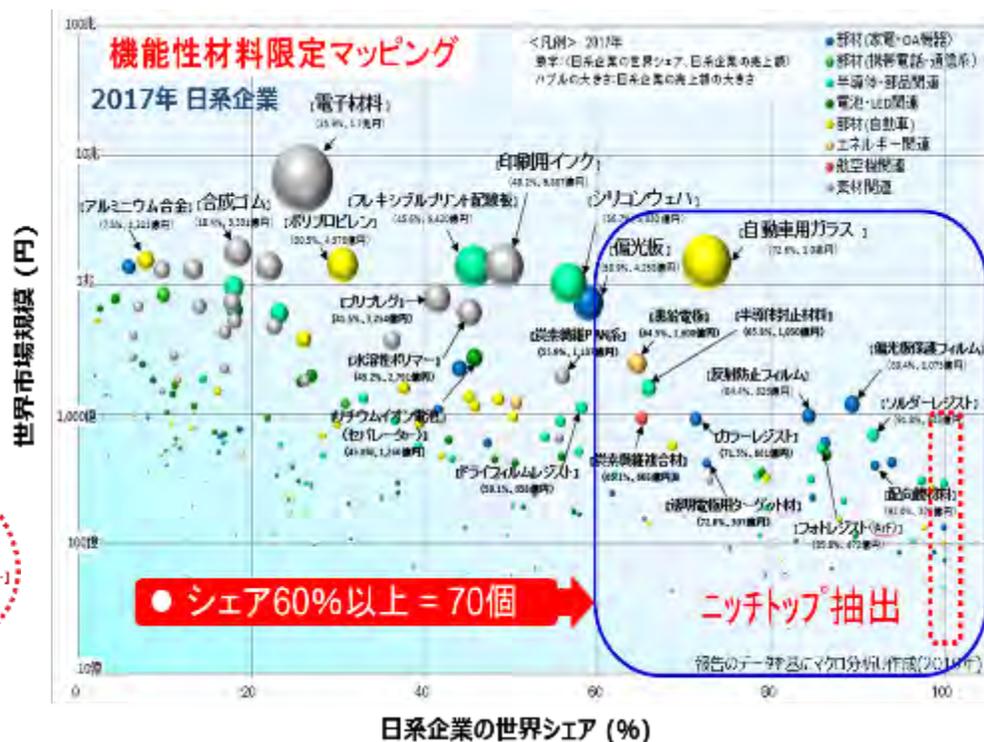
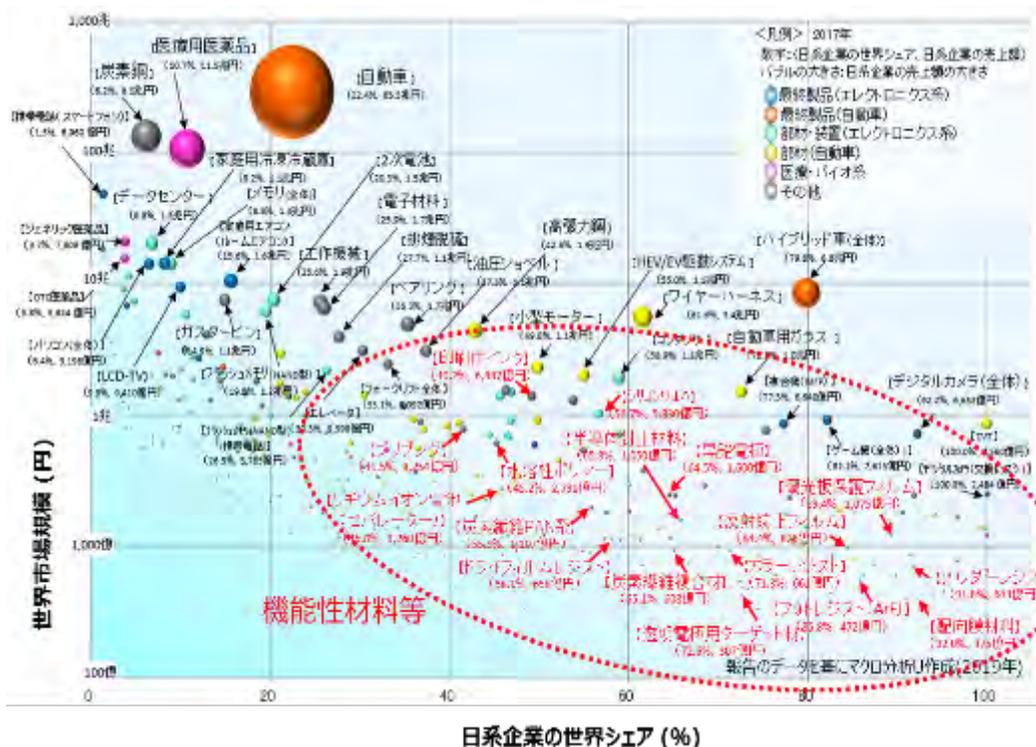
【出典】「2019年版ものづくり白書」及び新エネルギー・産業技術総合開発機構「平成29年度日系企業のモノとサービス・ソフトウェアの国際競争ポジションに関する情報収集、調査結果を基に文部科学省作成

機能性材料が日本の部素材産業を支える

製品の差別化が図れる機能性材料に着目すると、個々の市場規模は小さいものの高いシェアを確保している。(世界シェア60%以上の材料が70種類、世界シェア100%の材料(ニッチトップ)が19種類存在。)

機能性材料... (機能による分類) 光学材料、磁性材料、導電・絶縁材料、伝熱・遮熱材料、触媒...
(形態による分類) 粒子、繊維、フィルム、シート、膜...

日系企業が生み出した主要先端製品・部材の世界市場規模及び日系企業の世界シェア(2017年)
(機能性材料に関する詳細分析)



【出典】新エネルギー・産業技術総合開発機構「平成30年度日系企業のモノ、サービス及びソフトウェアの国際競争ポジションに関する情報収集」調査結果を基に経済産業省作成

一部材料製品でシェアが低下

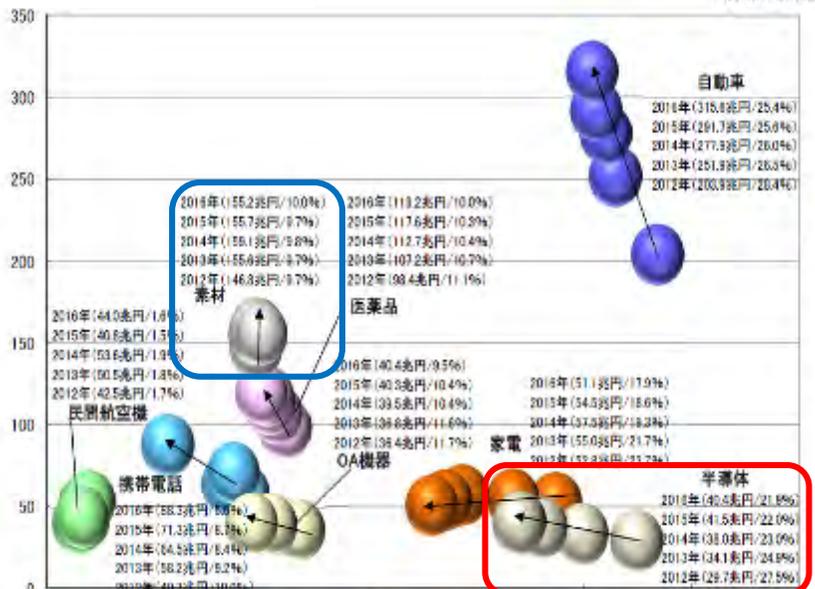
近年、素材産業では世界の市場シェアを維持している一方、電池や半導体については、市場シェアを徐々に下げている状況にある。

産業カテゴリ別の市場規模及び日系企業のシェア推移

【市場規模30兆円以上】

縦軸：市場規模(兆円)

凡例：年(世界市場規模/日系シェア)

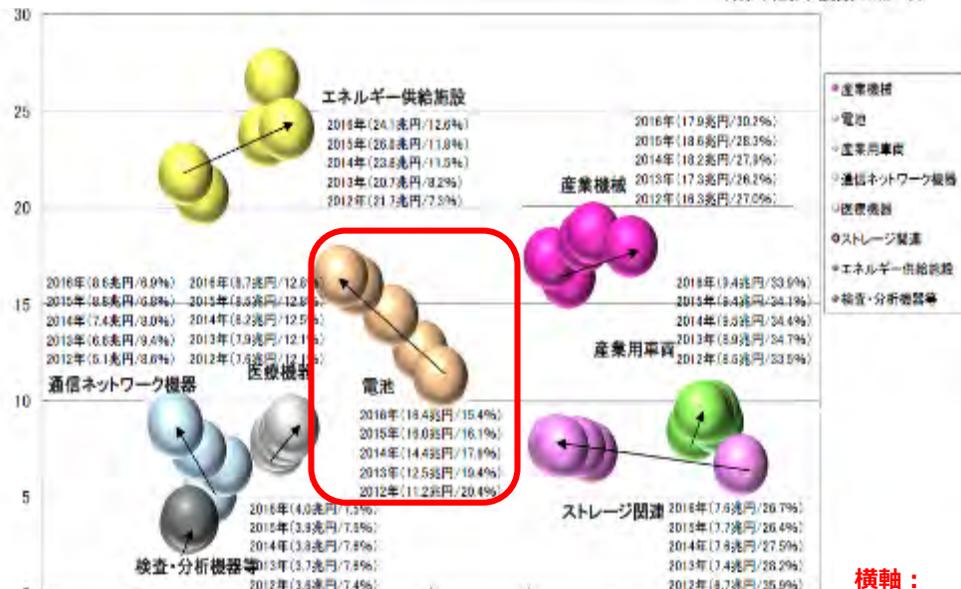


横軸：
日系シェア
(%)

【市場規模30兆円未満】

縦軸：市場規模(兆円)

凡例：年(世界市場規模/日系シェア)



横軸：
日系シェア
(%)

【出典】新エネルギー・産業技術総合開発機構「平成29年度成果報告書 日系企業のモノとサービス・ソフトウェアの国際競争ポジションに関する情報収集情報収集項目(1)「モノを中心とした情報収集と評価」」(委託先：富士キメラ総研)に文部科学省が一部追記

一部材料製品でシェアが低下（２）

電気自動車（EV）等のモーター用磁石として広く使用されているネオジム磁石は、日本で開発された材料である一方で、現在の世界シェアは、中国企業が5割を超え、日本企業は2割未満となっている。その背景として、基本特許が切れたことに加えて、プロセス上のブラックボックスが存在しなかったこと（ある組成比で材料を混合させ、一般的な粉末焼結プロセスで作製すると、ほぼ求める特性を得ることが可能）等が挙げられる。

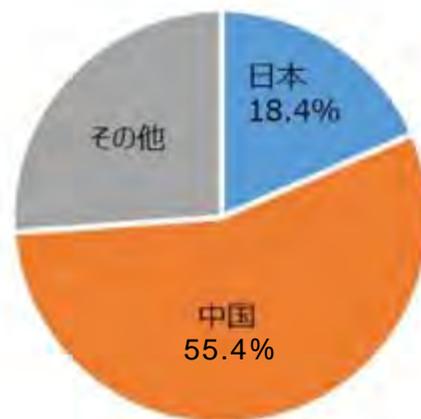
ネオジム磁石の世界シェア（2018年、2019年）

単位：t

メーカー	2018年（実績）	2019年（見込）
中国a社	12,200	12,000
日本A社	7,500	7,500
中国b社	6,500	6,500
中国c社	6,200	6,100
日本B社	4,300	4,100
中国d社	4,150	6,000
中国e社	4,000	3,800
中国f社	2,400	2,300
その他	16,750	14,700
合計	64,000	63,000

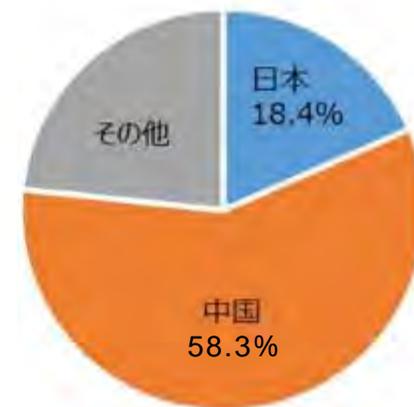
* オレンジ背景は中国企業、青背景は日本企業、灰色背景はその他

2018年（実績）



■ 日本企業 ■ 中国企業 ■ その他

2019年（見込）



■ 日本企業 ■ 中国企業 ■ その他

【出典】富士経済「精密小型モーター市場実態調査2019」を基に経済産業省作成

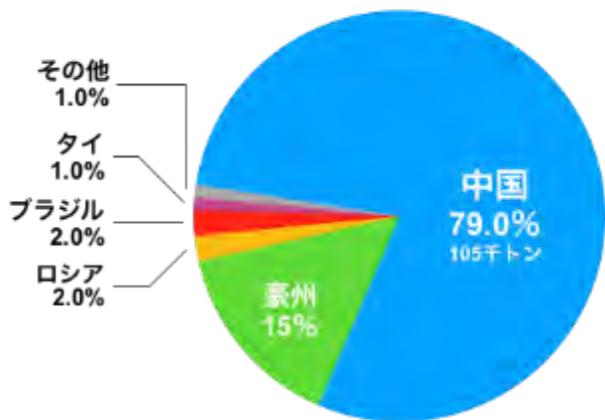
マテリアルの原料供給リスク増大の懸念

一部のマテリアルの原料（レアアース、リン（特に黄リン）など）は、供給源が特定の国に偏在している状況にある。これらのマテリアルは、電子機器等の先端産業や、日本の強みである機能性化学産業等において必要不可欠であるのみならず、今後、脱炭素社会への転換によって再エネ機器や電気自動車（EV）等が普及することで、世界的な需要増が見込まれる。こうした中で、米中貿易摩擦等による原料供給リスクの増大が懸念される。

【レアアース関係】

レアアース国別鉱石生産量（2017年）

（合計130千トン（REO換算））



鉱石生産は中国に一国集中

【出典】USGS2018を基に独立行政法人石油天然ガス・金属鉱物資源機構が作成、経済産業省が一部改変

【リン（黄リン）関係】

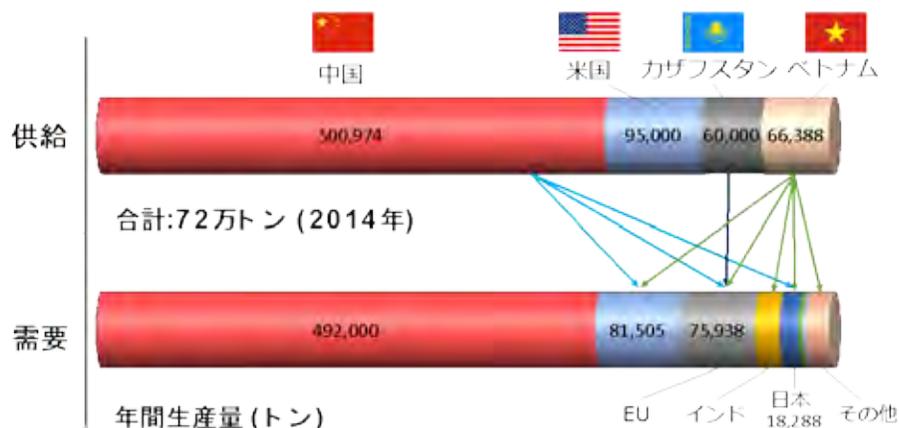
単位 1000元/トン 中国黄リン価格の経年変化



現在、中国の環境規制等によって多くのリンメーカーが生産を停止し、価格高騰。2008年のリンショックの際の価格を上回る水準

【出典（上下ともに）】
一般社団法人リン循環産業振興機構

黄リンの国別需要・供給割合（2014年）

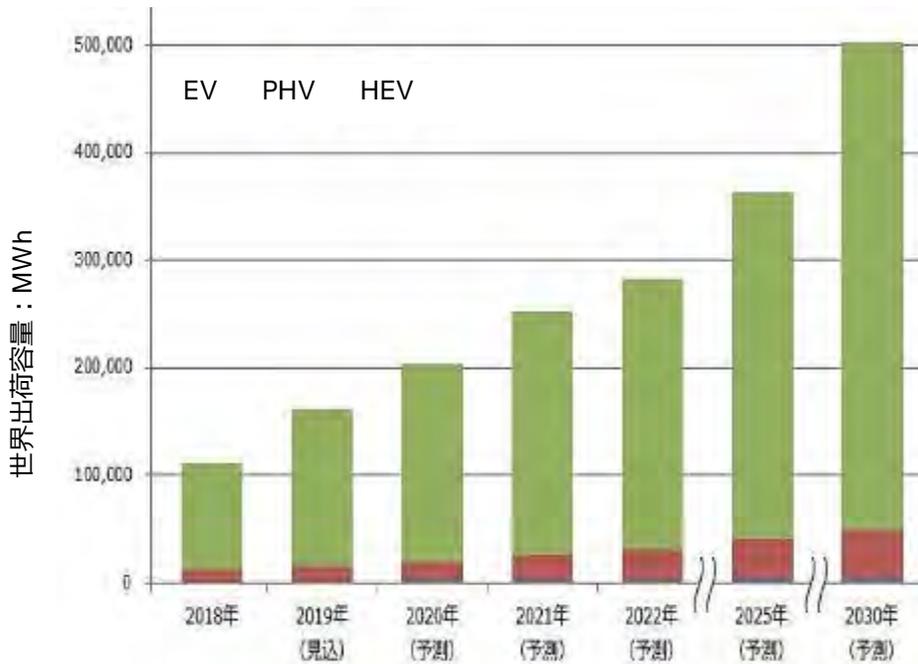


供給量全体の85%を占める米国・中国がリンを戦略物資として囲い込んでおり、我が国はベトナム1国に事実上依存している状況

資源循環を考慮したマテリアルが不可欠に

電気自動車（EV）等の普及によって、世界的に需要増が見込まれるマテリアルについてはリサイクルが重要に。特に、EUでサーキュラーエコノミーが強く推進されている中、今後、性能の非常に優れたマテリアルであっても、リサイクル技術が確立されていない場合には、当該マテリアルが世界販売できなくなる可能性。

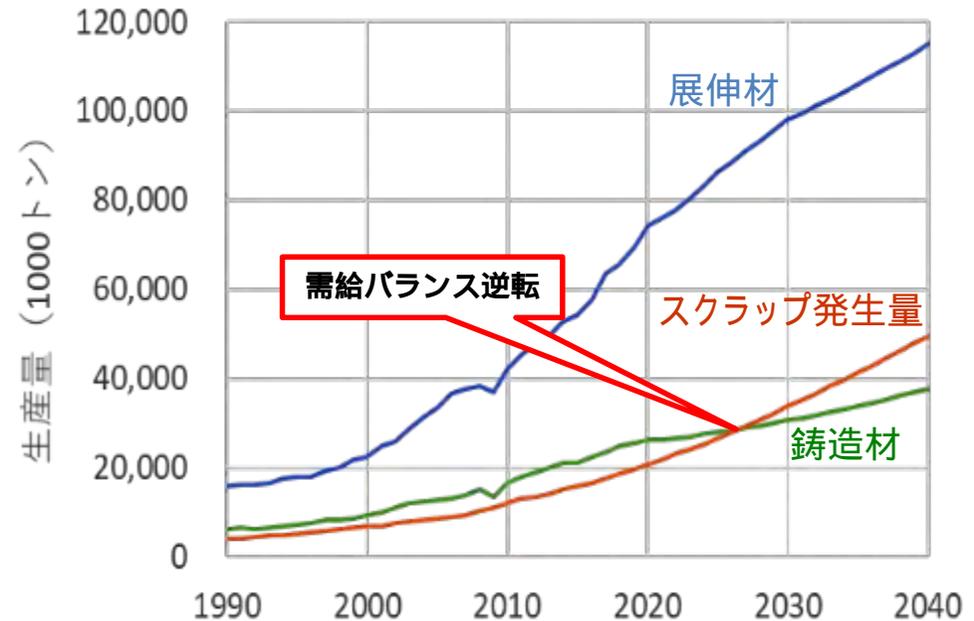
【車載用Liイオン電池（LIB）世界市場規模推移】



【出典】2019年版 車載用リチウムイオン電池市場の現状と将来展望（富士経済、図面は日経オンライン版より転載）を元にNEDO-TSCにて作成

EV等の増加に伴うLiBの普及により、LiBリサイクルへのニーズが増大。他方、レアメタル等（Co、Ni、Li）は海外偏在資源であり、LiBの回収・再資源化がクローズアップ

【世界のアルミニウム素材の生産予測】



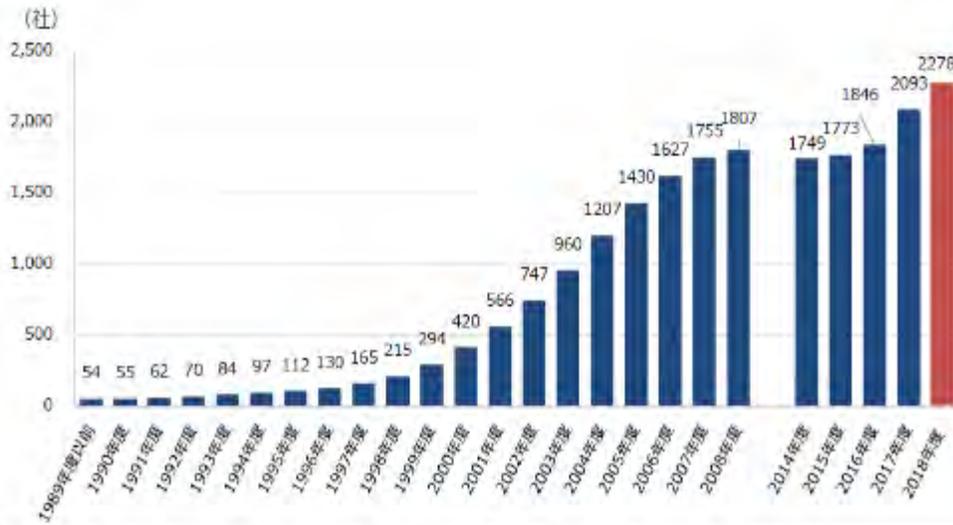
【出典】International Aluminium Institute, Regional Aluminium Flow Model 2017 (1)

EVの増加により、自動車用アルミ素材の需要が減少。アップグレードリサイクル技術の確立がなされなければ、大量のスクラップ材料が余剰発生する懸念

大学発スタートアップが少ない

マテリアル系の大学発スタートアップ企業は徐々に数を増やしてはいるものの、IT系やバイオ系といった他分野と比較すると少ない。

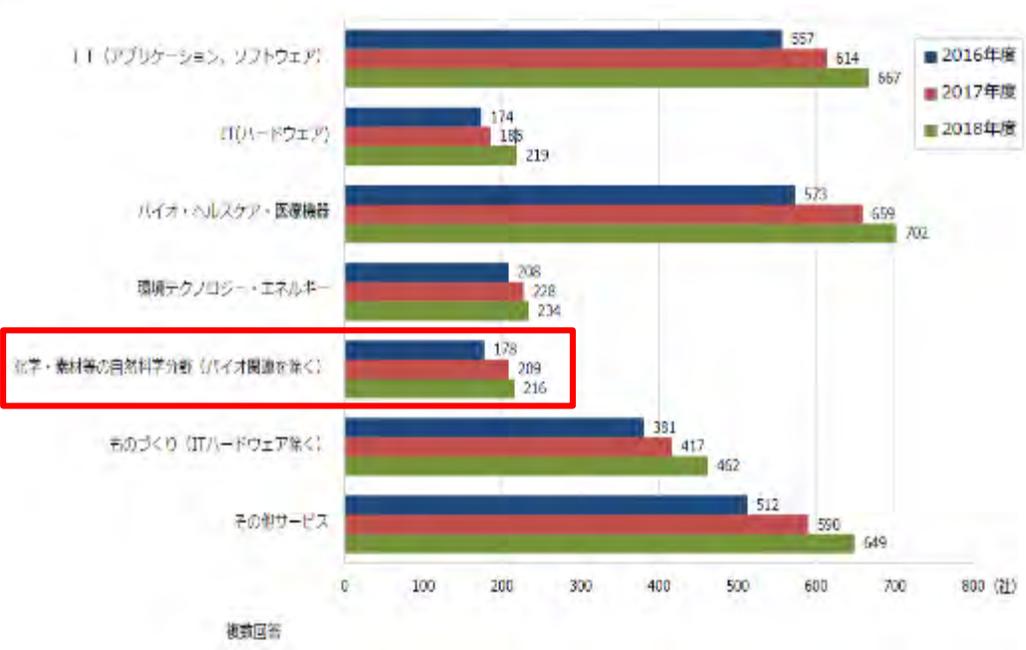
大学発ベンチャー数の推移



本調査では、下記の5つのうち1つ以上に当てはまるベンチャー企業を「大学発ベンチャー」と定義している。

1. 研究成果ベンチャー：大学で達成された研究成果に基づく特許や新たな技術、ビジネス手法を事業化する目的で新たに設立されたベンチャー
2. 共同研究ベンチャー：創業者の持つ技術やノウハウを事業化するために、設立5年以内に大学と共同研究等を行ったベンチャー
3. 技術移転ベンチャー：既存事業を維持・発展させるため、設立5年以内に大学から技術移転等を受けたベンチャー
4. 学生ベンチャー：大学と深い関係のある学生ベンチャー
5. 関連ベンチャー：大学からの出資がある等その他、大学と深い関係のあるベンチャー

業種別のベンチャー数の推移



【出典】経済産業省「平成30年度産業技術調査（大学発ベンチャー実態等調査）調査結果概要」

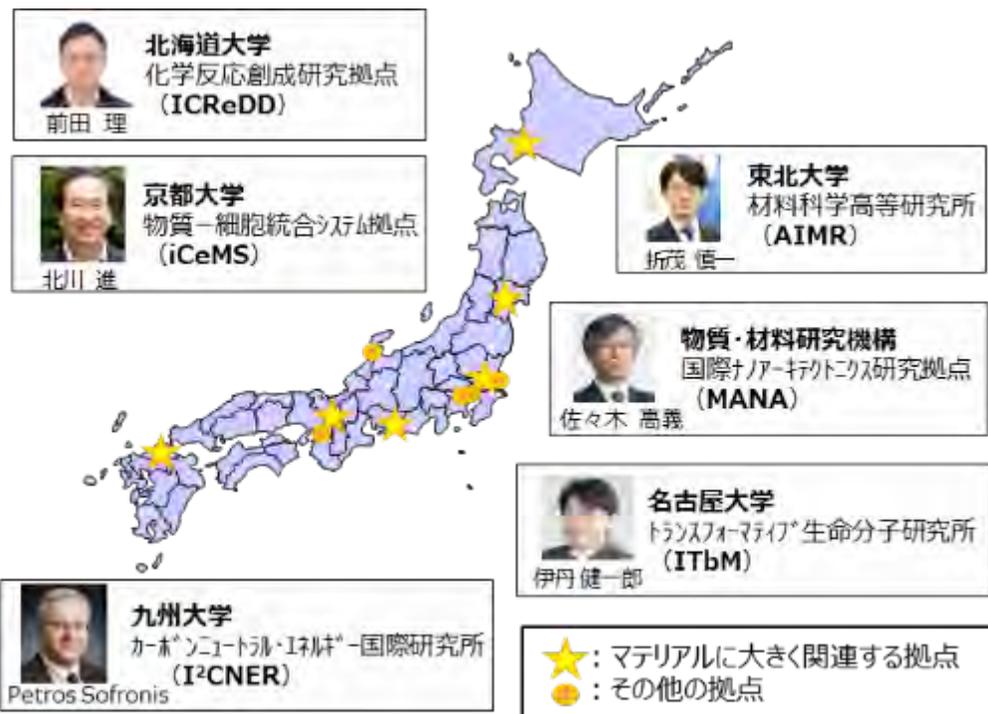
2 . マテリアルを取り巻く状況

(2) アカデミア

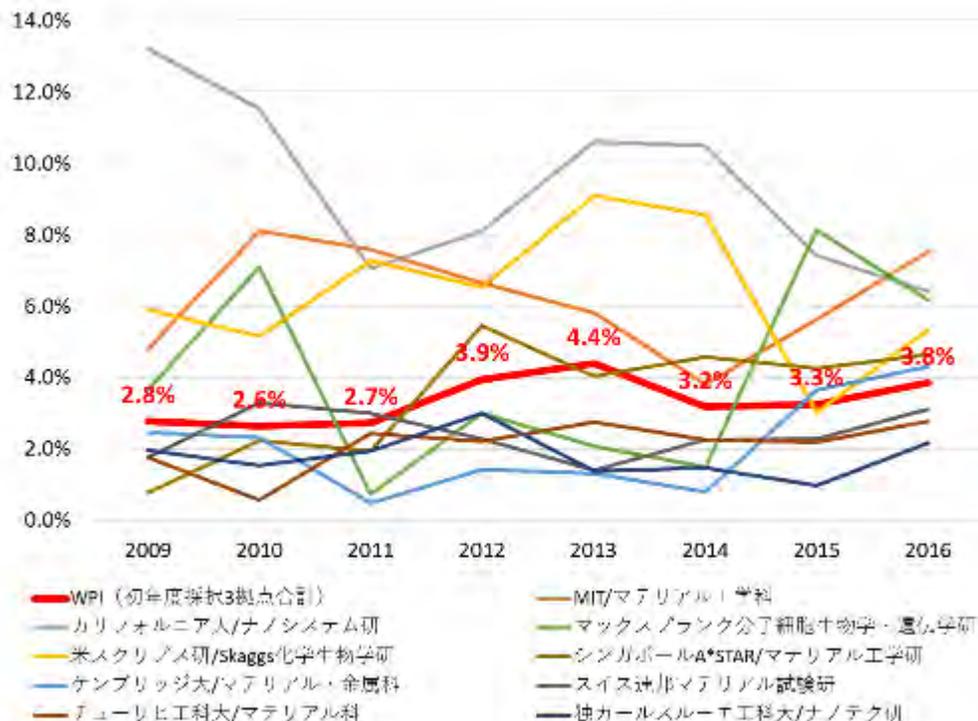
世界と戦える研究拠点が存在

WPI（世界トップレベル研究拠点プログラム）採択拠点の約半数がマテリアル関連の融合拠点。初年度採択拠点を見ると、全論文に占めるトップ1%論文割合が約4%であるなど、世界トップレベルの大学・研究機関と比較しても遜色ない、質の高い研究活動を実施している。

マテリアル関連のWPI採択拠点



執筆論文数に占めるトップ1%論文数割合



グラフに関して、WPIの数値は、2007年度採択5拠点のうち、マテリアル融合分野における3拠点（AIMR：東北大学材料科学高等研究所、iCeMS：京都大学物質-細胞統合システム研究拠点、MANA：物質・材料研究機構国際ナノアーキテクトニクス研究拠点）の論文データを統合し作成。WPI以外に記載している大学・研究機関は、WPI拠点（AIMR、iCeMS、MANA）の海外ベンチマーク機関（注：各WPI拠点が、研究領域が近く、ベンチマークすべき世界トップレベルの拠点として設定（1拠点あたり5つ）している研究機関）のうち、2016年のTop1%論文数割合が2%を超えている機関を全て抽出して記載。

【出典】（左）文部科学省作成、（右）クラリベイト・アナリティクス社提供のデータ（2019年5月）を基にJ S P S・文部科学省にて作成

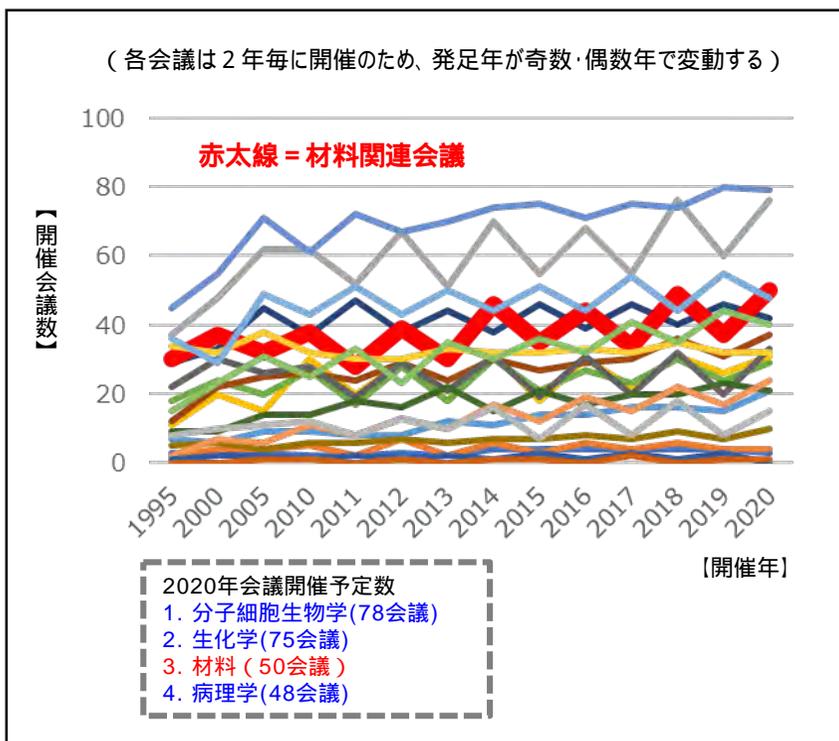
国際会議で日本の研究者は存在感を有する

最先端の国際会議の招待講演者数を見ると、我が国のトップ研究者は一定（世界第5位）の存在感を有している。米国の研究者が圧倒的な存在感を有しており、中国は我が国とほぼ同等の位置づけにある。

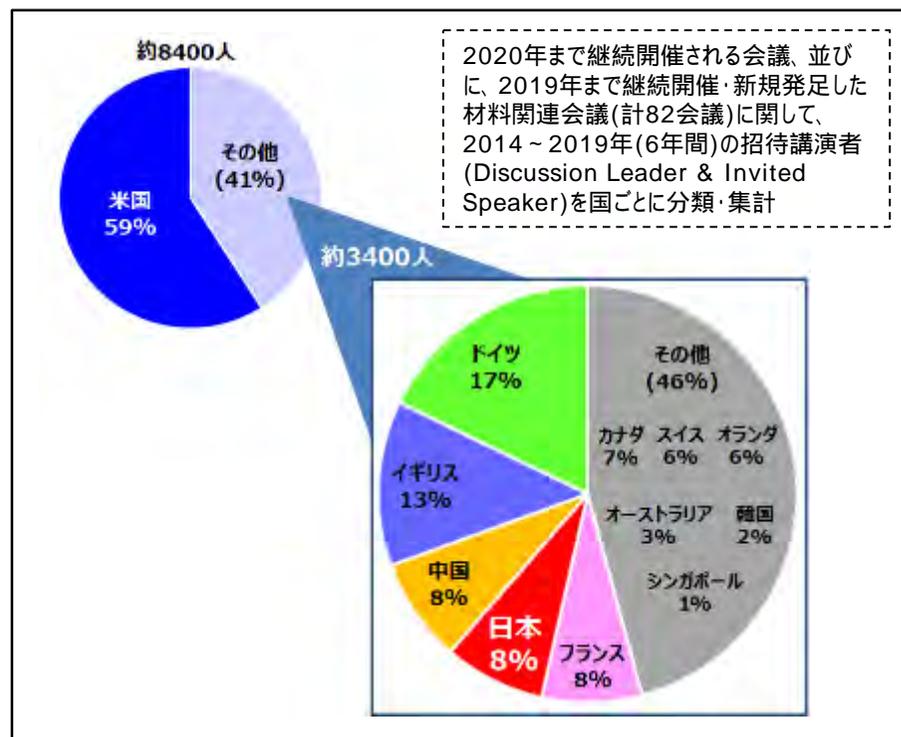
GRC (Gordon Research Conference)

:サイエンスの分野で歴史と権威があり、広く知られている研究集会の一つで、生物、化学、物理、工学、およびそれらのインターフェース分野における最新・最先端の研究のプレゼンテーションとディスカッションのための国際会議を提供している(2018年：会議開催数=203件)。材料に関連する会議も多く開催されている。

分野別の開催会議数変化



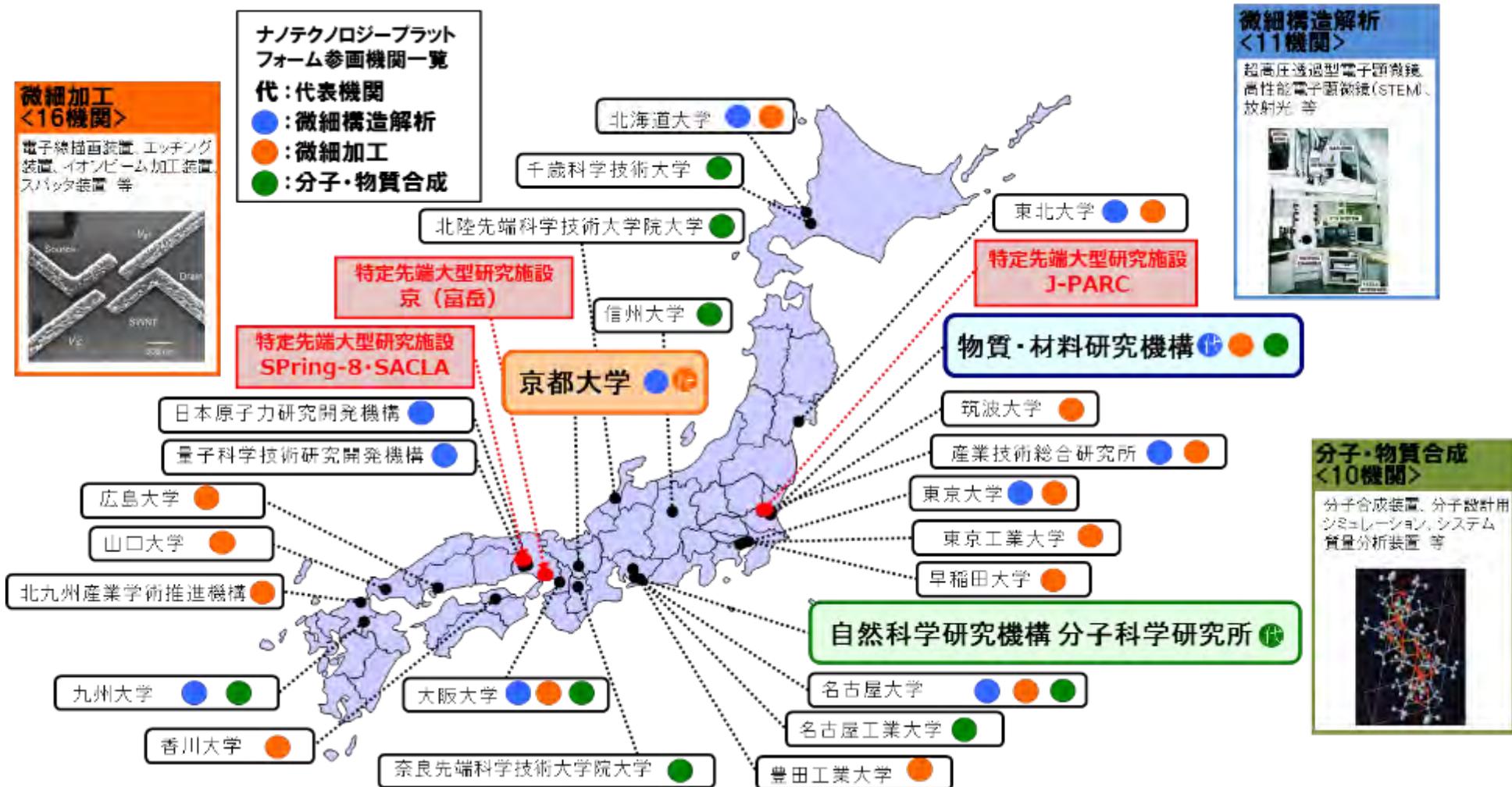
材料関連会議の各国招待講演者



【出典】 Gordon Research Conferences (<https://www.grc.org/>) を基に科学技術振興機構 (JST) プログラム戦略推進戦部で分析・作成した資料を文部科学省で一部改変

世界最高水準の研究施設・設備が存在

SPring-8やSACLA、J-PARC、京（富岳）といった世界最先端の大型研究施設が日本国内に整備・共用されているとともに、長期にわたる政府の取組（ナノテクノロジープラットフォーム等）を通じて、マテリアル分野においては世界最高水準の研究環境（先端研究設備・機器の共用プラットフォーム）が効果的に整備されている。



良質なマテリアル・データベースが存在

物質・材料研究機構（NIMS）において、専門家により収集・構築された良質なマテリアル・データベースが保有されている。



無機材料



世界最大の無機材料データベース

	Atom Work	Atom Work Adv.
結晶構造	82,000	303,885
状態図	15,000	42,406
特性	55,000	365,517
更新	なし	年1回

高分子



33万物性
(2019.4現在)

国産高分子データベース

- ・学術論文からの精選データ
- ・人手による高品質データ
- ・過去20年の蓄積(10人体制)

金属・合金



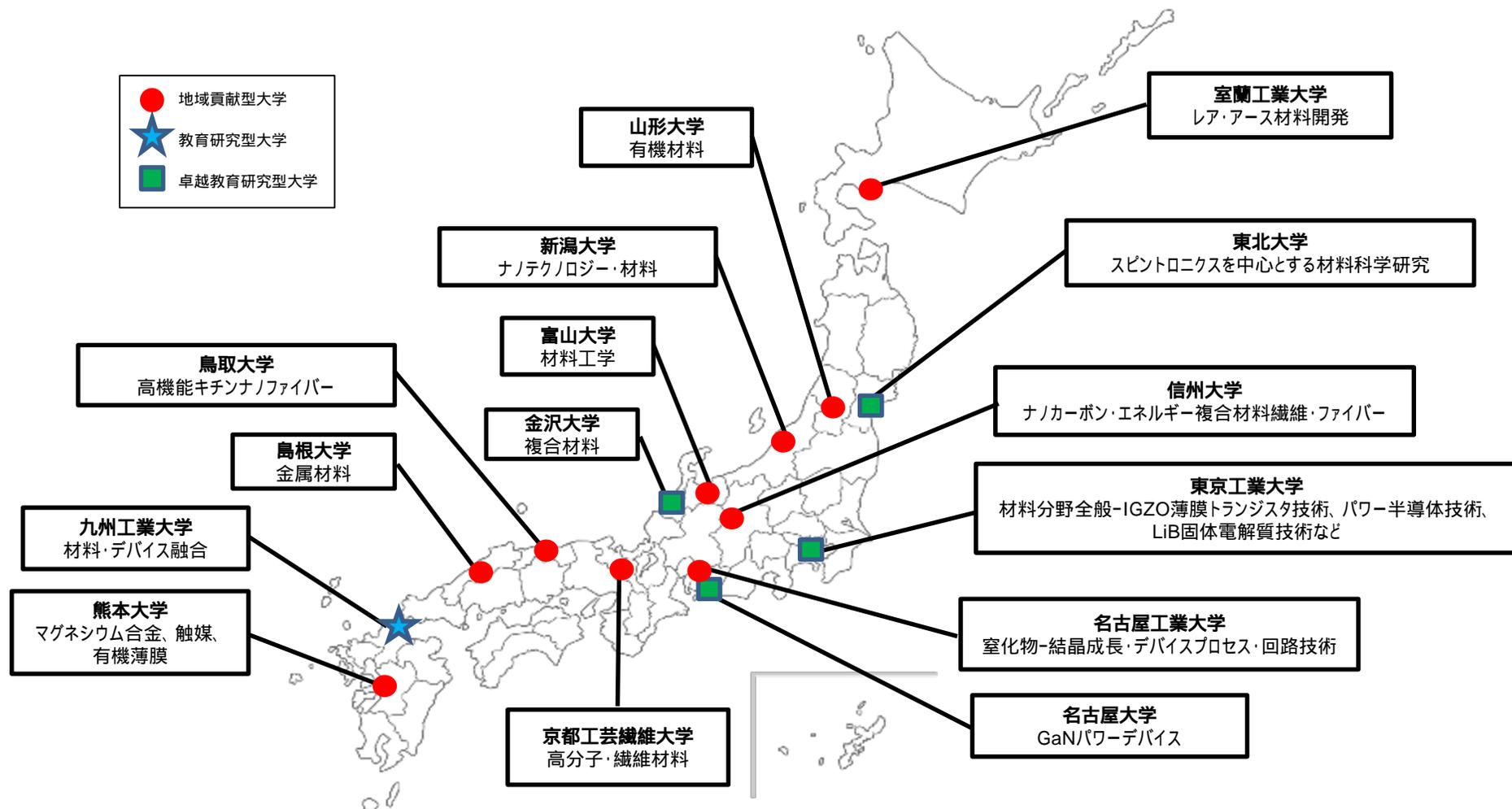
500種以上の鉄鋼材料の機械的性質、クリープ、疲労: 82,700以上



CCT曲線図: 214; 硬度: 2213; 金属組織図: 627

マテリアルは全国の大学の強み

大学の得意分野としてマテリアル関連の研究を掲げている大学が多数存在する。また、このことは、我が国においてマテリアルを強化することが、地方創成に大きく貢献する可能性を持つことを示唆している。



【出典】 経済産業省「大学ファクトブック2019 国立大学」より文部科学省作成

(注) 大学ファクトブック「大学の得意分野とその具体例」に“材料”もしくは“具体的な材料名”のキーワードが表記されている大学を抽出

論文数の国際シェアが低下

我が国の化学、材料科学分野の総論文数、トップ10%論文数、トップ1%論文数は、この10年間で国際シェアを大きく下げている。いずれの指標も中国が米国を抜き圧倒的1位となっている。なお、材料科学分野では、中国、米国に続き韓国が3位に入っている。

【化学 (2005-07 2015-17)】 分数カウント

総論文数：8.4% (3位) 5.1% (4位)
 トップ10%：7.9% (3位) 3.6% (6位)
 トップ1%：5.7% (5位) 3.5% (5位)

【材料科学 (2005-07 2015-17)】 分数カウント

総論文数：9.6% (3位) 4.0% (5位)
 トップ10%：7.5% (3位) 2.4% (9位)
 トップ1%：6.5% (5位) 2.8% (7位)

化学		PY2005-2007 (平均)		
国・地域名	論文数	シェア	順位	
米国	20,253	16.1	1	
中国	19,979	15.9	2	
日本	10,533	8.4	3	
ドイツ	7,313	5.8	4	
インド	6,634	5.3	5	
ロシア	5,128	4.1	6	
フランス	4,889	3.9	7	
英国	4,799	3.8	8	
スペイン	4,063	3.2	9	
イタリア	3,567	2.8	10	

化学		PY2015-2017 (平均)		
国・地域名	論文数	シェア	順位	
中国	48,898	27.1	1	
米国	21,049	11.7	2	
インド	11,699	6.5	3	
日本	9,256	5.1	4	
ドイツ	8,500	4.7	5	
ロシア	6,551	3.6	6	
韓国	5,880	3.3	7	
イラン	5,296	2.9	8	
フランス	5,154	2.9	9	
英国	5,010	2.8	10	

化学		PY2005-2007 (平均)		
国・地域名	Top10%論文	シェア	順位	
米国	3,554	28.3	1	
中国	1,569	12.5	2	
日本	993	7.9	3	
ドイツ	889	7.1	4	
英国	643	5.1	5	
フランス	520	4.1	6	
スペイン	445	3.5	7	
インド	424	3.4	8	
カナダ	357	2.8	9	
イタリア	357	2.8	10	

化学		PY2015-2017 (平均)		
国・地域名	Top10%論文	シェア	順位	
中国	5,959	33.1	1	
米国	3,100	17.2	2	
ドイツ	977	5.4	3	
インド	813	4.5	4	
英国	703	3.9	5	
日本	646	3.6	6	
韓国	563	3.1	7	
フランス	457	2.5	8	
スペイン	448	2.5	9	
イラン	445	2.5	10	

化学		PY2005-2007 (平均)		
国・地域名	Top1%論文	シェア	順位	
米国	472	37.6	1	
中国	113	9.0	2	
ドイツ	96	7.7	3	
英国	78	6.2	4	
日本	72	5.7	5	
スペイン	43	3.4	6	
フランス	42	3.3	7	
カナダ	38	3.0	8	
イタリア	35	2.8	9	
韓国	32	2.5	10	

化学		PY2015-2017 (平均)		
国・地域名	Top1%論文	シェア	順位	
中国	596	33.1	1	
米国	388	21.6	2	
ドイツ	118	6.5	3	
英国	84	4.6	4	
日本	64	3.5	5	
韓国	54	3.0	6	
シンガポール	46	2.5	7	
オーストラリア	41	2.3	8	
インド	41	2.3	9	
スペイン	36	2.0	10	

材料科学		PY2005-2007 (平均)		
国・地域名	論文数	シェア	順位	
中国	9,484	19.5	1	
米国	6,614	13.6	2	
日本	4,671	9.6	3	
ドイツ	2,594	5.3	4	
韓国	2,466	5.1	5	
インド	2,048	4.2	6	
英国	1,745	3.6	7	
フランス	1,732	3.6	8	
台湾	1,291	2.6	9	
ロシア	1,250	2.6	10	

材料科学		PY2015-2017 (平均)		
国・地域名	論文数	シェア	順位	
中国	32,256	32.8	1	
米国	10,384	10.6	2	
韓国	5,788	5.9	3	
インド	5,638	5.7	4	
日本	3,887	4.0	5	
ドイツ	3,519	3.6	6	
イラン	2,675	2.7	7	
英国	2,409	2.4	8	
フランス	2,232	2.3	9	
ロシア	2,219	2.3	10	

材料科学		PY2005-2007 (平均)		
国・地域名	Top10%論文	シェア	順位	
米国	1,242	25.5	1	
中国	696	14.3	2	
日本	364	7.5	3	
ドイツ	312	6.4	4	
英国	261	5.4	5	
韓国	221	4.5	6	
フランス	206	4.2	7	
インド	154	3.2	8	
カナダ	151	3.1	9	
スペイン	107	2.2	10	

材料科学		PY2015-2017 (平均)		
国・地域名	Top10%論文	シェア	順位	
中国	4,171	42.4	1	
米国	1,620	16.5	2	
韓国	560	5.7	3	
ドイツ	346	3.5	4	
インド	284	2.9	5	
英国	276	2.8	6	
オーストラリア	255	2.6	7	
シンガポール	242	2.5	8	
日本	232	2.4	9	
イラン	194	2.0	10	

材料科学		PY2005-2007 (平均)		
国・地域名	Top1%論文	シェア	順位	
米国	179	36.7	1	
中国	46	9.5	2	
ドイツ	36	7.4	3	
英国	33	6.7	4	
日本	32	6.5	5	
フランス	20	4.1	6	
カナダ	15	3.1	7	
韓国	15	3.0	8	
シンガポール	14	2.8	9	
オランダ	12	2.5	10	

材料科学		PY2015-2017 (平均)		
国・地域名	Top1%論文	シェア	順位	
中国	422	43.0	1	
米国	214	21.8	2	
韓国	46	4.6	3	
シンガポール	39	4.0	4	
オーストラリア	31	3.2	5	
ドイツ	31	3.1	6	
日本	28	2.8	7	
英国	28	2.8	8	
サウジアラビア	15	1.6	9	
カナダ	15	1.5	10	

論文数の減少傾向は他分野より顕著

この10年間で、我が国の論文数が全体的に減少する中で、**マテリアルに関連する化学、材料科学、物理学分野の低下傾向が顕著である。特にトップ10%論文数の減少傾向が著しい。**ボリュームゾーンを占めるマテリアル関連の論文指標の停滞が、日本全体の論文指標の停滞に大きく影響していると推察できる。

分野	論文数		
	PY2005-2007年 (平均値)	PY2015-2017年 (平均値)	伸び率
化学	10,533	9,256	↓ -12%
材料科学	4,671	3,887	↓ -17%
物理学	10,266	7,345	↓ -28%
計算機・数学	2,478	2,417	→ -2%
工学	4,663	4,143	↓ -11%
環境・地球科学	2,292	2,731	↑ 19%
臨床医学	13,141	16,272	↑ 24%
基礎生命科学	18,443	17,179	↓ -7%
合計	67,026	63,725	- 5%

分野	Top10%補正論文数		
	PY2005-2007年 (平均値)	PY2015-2017年 (平均値)	伸び率
化学	993	646	↓ -35%
材料科学	364	232	↓ -36%
物理学	750	518	↓ -31%
計算機・数学	107	127	↑ 19%
工学	267	204	↓ -24%
環境・地球科学	120	165	↑ 37%
臨床医学	746	1,030	↑ 38%
基礎生命科学	1,143	971	↓ -15%
合計	4,506	3,927	- 13%

分野	Top1%補正論文数		
	PY2005-2007年 (平均値)	PY2015-2017年 (平均値)	伸び率
化学	72	64	↓ -11%
材料科学	32	28	↓ -12%
物理学	64	40	↓ -37%
計算機・数学	8	9	↑ 17%
工学	18	19	↑ 8%
環境・地球科学	12	14	↑ 21%
臨床医学	44	63	↑ 44%
基礎生命科学	106	88	↓ -17%
合計	355	328	- 7%

分数カウント法とは、1件の論文が、日本の機関Aと米国の機関Bの共著の場合、日本を1/2、米国を1/2と数える方法。論文の生産への貢献度を示している。

(注1) PYとは出版年 (Publication year) の略である。Article, Reviewを分析対象とした。分数カウント法を用いた。

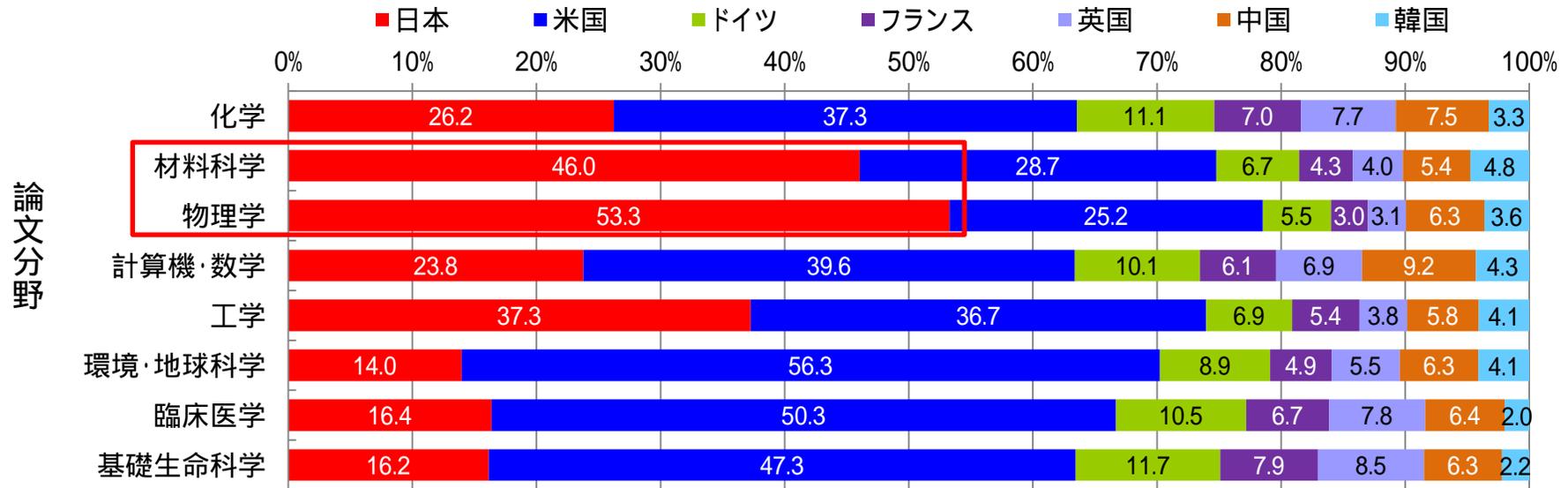
(注2) 論文の被引用数 (2018年末の値) が各年各分野 (22分野) の上位10% (1%) に入る論文数がTop10% (Top1%) 論文数である。Top10% (Top1%) 補正論文数とは、Top10% (Top1%) 論文数の抽出後、実数で論文数の1/10 (1/100) となるように補正を加えた論文数を指す。

(注3) クラリベイト・アナリティクス社 Web of Science XML (SCIE, 2018年末バージョン) を基に、科学技術・学術政策研究所が集計。

産業界は日本の大学等の知を活用

我が国の論文が国際特許出願に引用される場合、材料科学・物理学分野では他分野と比較して、日本の企業等の特許出願の際に引用される割合が高い。このことは、材料・物理分野において、大学等で生まれた「知」が、日本企業に比較的有効に活用されている状況を示している。

日本の論文はどの国のパテントファミリー（国際特許出願）で引用されているか



パテントファミリー：優先権によって直接・間接的に結び付けられた2か国以上への特許出願の束

・欧州特許庁のPATSTAT(2018年秋バージョン)、クラリベイト・アナリティクスWeb of Science XML(SCIE, 2018年末バージョン)
 ・クラリベイト・アナリティクスDerwent Innovation Index(2019年2月抽出)を基に、科学技術・学術政策研究所が集計。

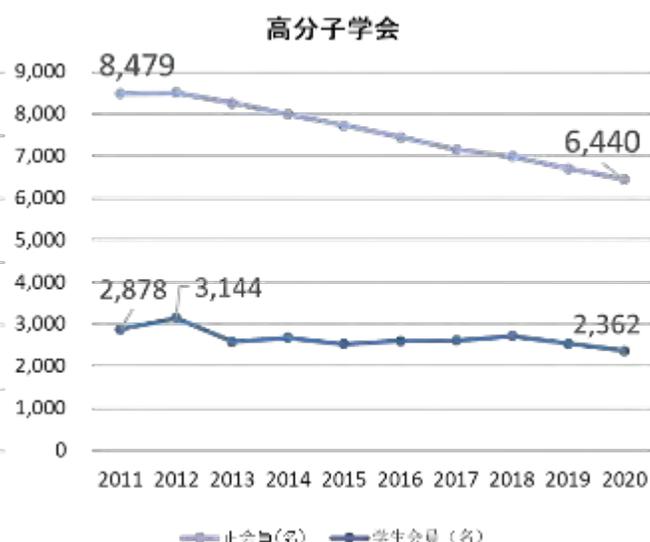
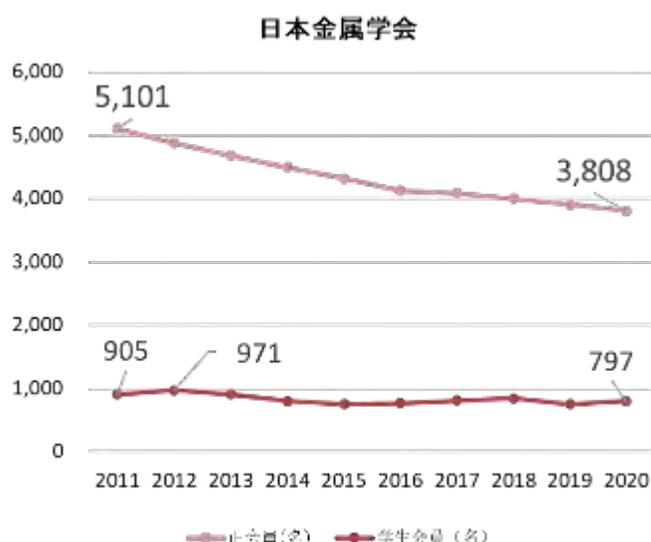
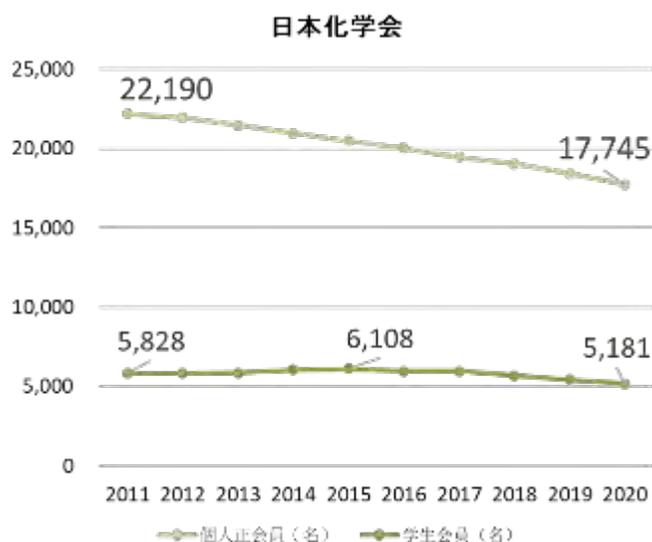
【出典】科学技術・学術政策研究所「科学技術指標2019」

2 . マテリアルを取り巻く状況

(3) 人材

マテリアル系学会の会員数の減少

- マテリアルに係る学会は、軒並み会員数が減少傾向。
- 化学、金属、高分子といった主要学会で、**学生会員についても、ここ10年間で減少。**

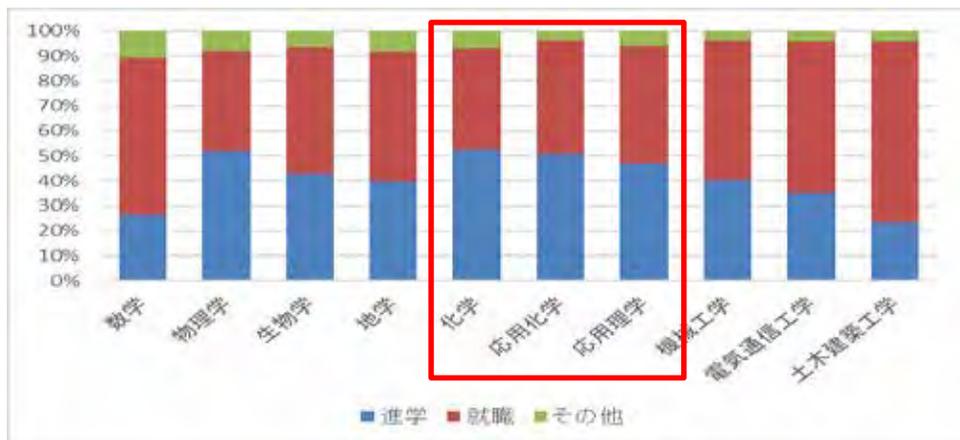


学部・修士・博士の進路状況

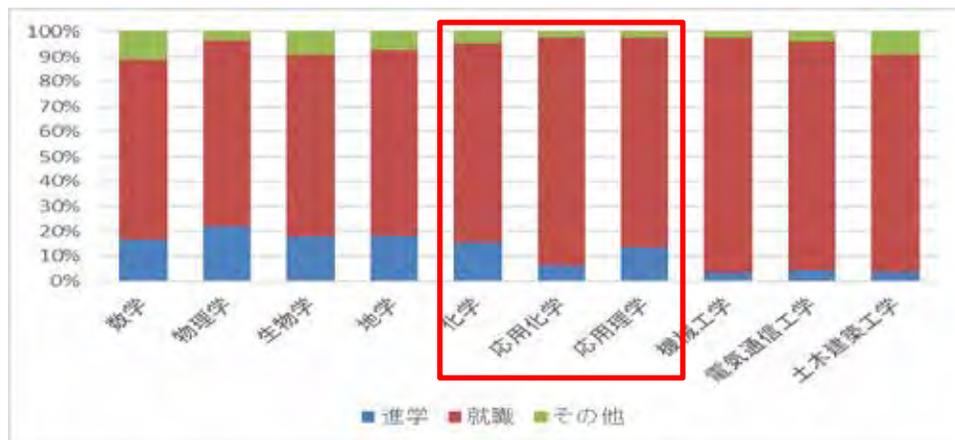
マテリアル関連分野である**化学、応用化学、応用理学**では、他分野と比較して、修士取得後に就職する割合が高い。**修士取得後の就職割合は増加傾向であり、博士を選ぶ割合が減少。**

理学系学科の学生の進路ごとの割合（H31）

【学部】

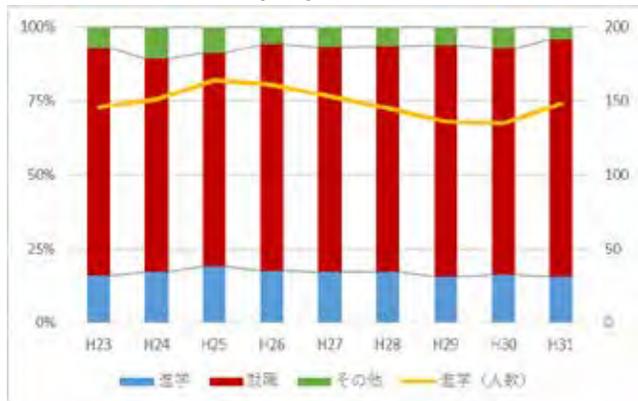


【修士】

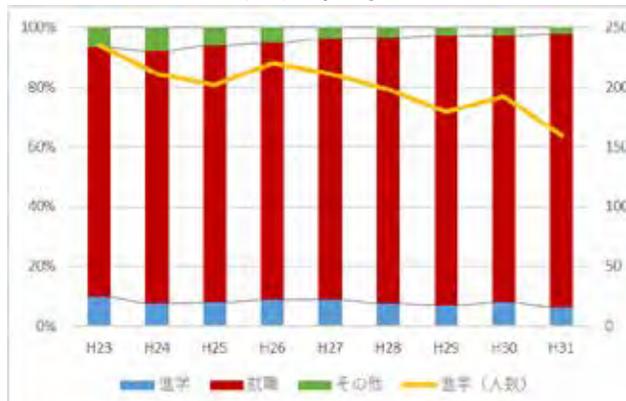


修士学生の進学率および進学した人数（H23 H31）

【化学】



【応用化学】



【応用理学】

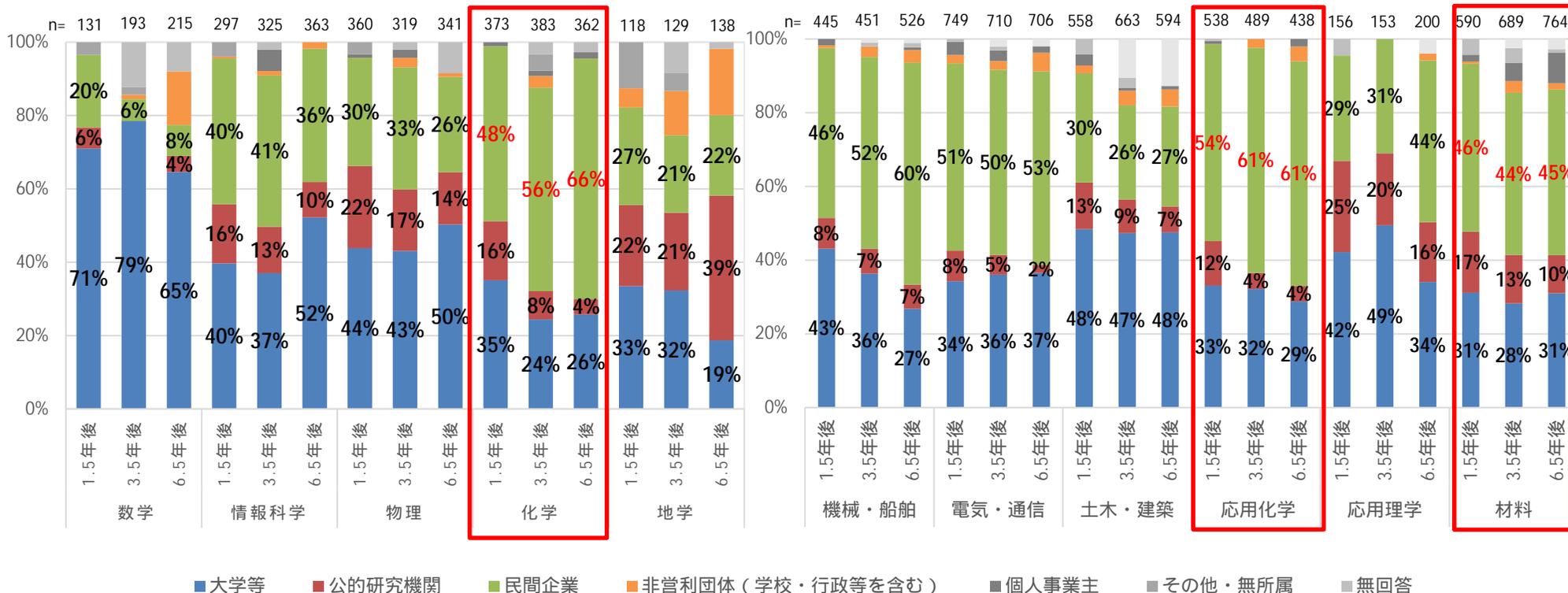


博士課程修了者の産業界就職割合

- 化学、材料、応用化学といったマテリアル関連分野において、博士課程を修了した学生は、他分野と比べて、その後民間企業に就職している割合が高い。

理学系学科の分野別雇用先

工学系学科の分野別雇用先



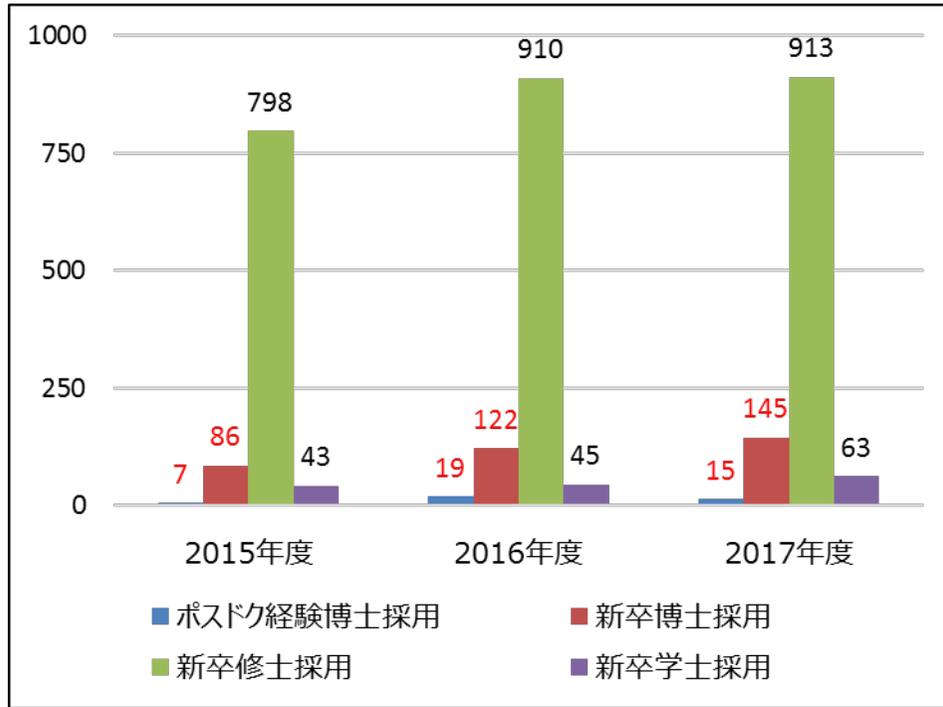
【出典】「博士人材追跡調査」の個票から、科学技術・学術政策研究所が集計したものを基に文部科学省作成

- ・2012年度に日本の大学院の博士課程を修了した者（以下「2012年コホート」）が対象。
- ・回答者が申告している博士課程在籍時の研究分野ごとに博士課程修了後1.5年後及び3.5年後、6.5年後に所属しているセクター毎に集計。
- ・回答者個人の意思に基づく調査の為、回答バイアスが存在している。よって、バイアス除去の為のキャリアレーションウェイトを用いて集計している。

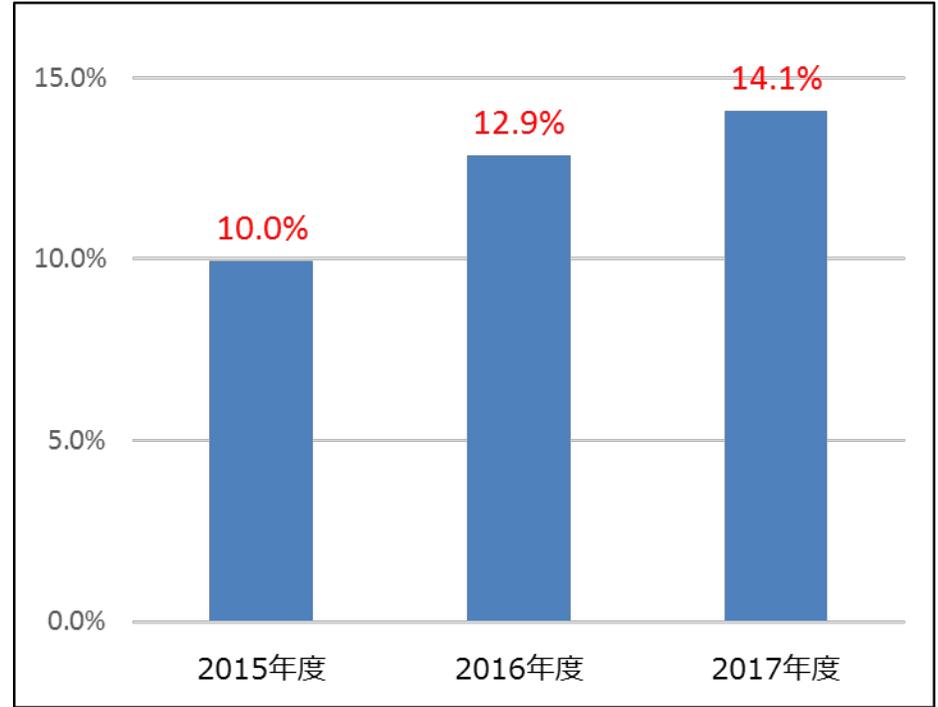
化学系企業の博士採用の推移

- 日本の化学系企業において、**新規採用者に占める博士号取得者の割合が徐々に増加傾向**であり、博士人材ニーズが増えている。

化学系企業（ ）の学歴別採用人数の推移



化学系企業（ ）の新規採用者に占める博士号取得者割合の推移



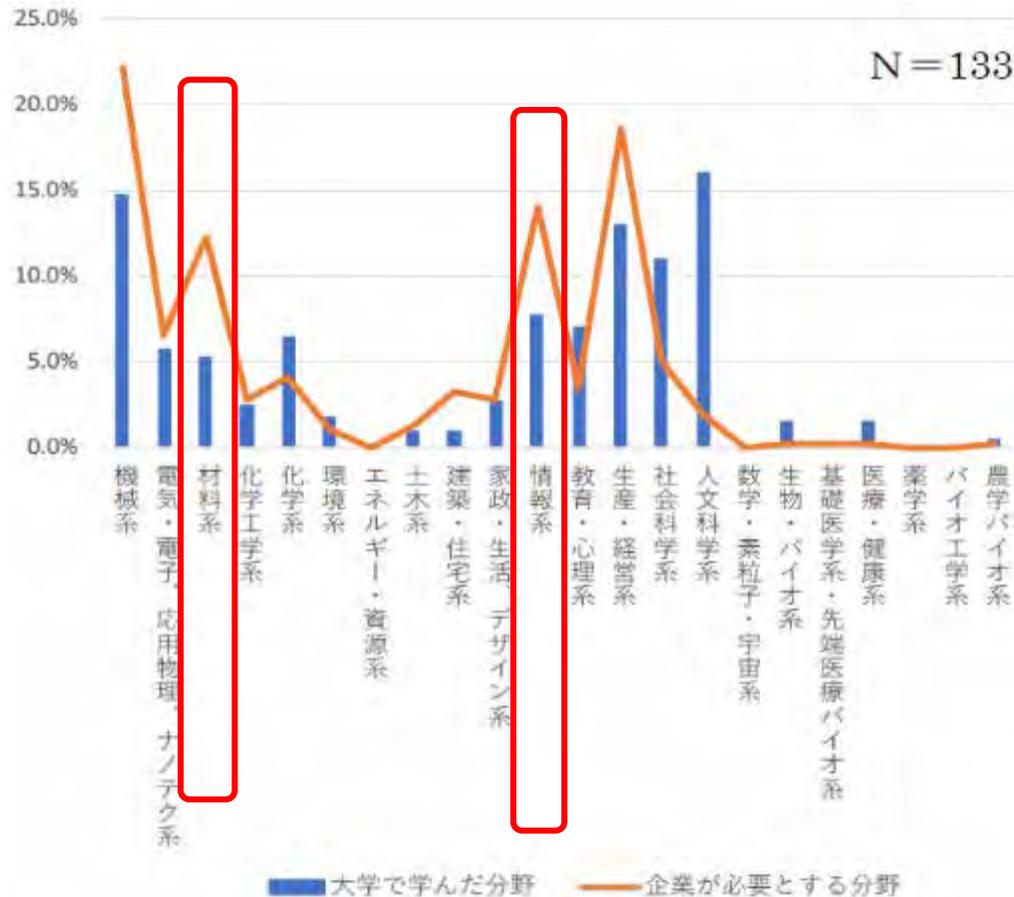
年度	国内					海外					国内人材比率
	ポストドク経験博士	新卒博士	新卒修士	新卒学士	合計	ポストドク経験博士	新卒博士	新卒修士	新卒学士	合計	
2015	6	82	781	40	909	1	4	17	3	25	97.2%
2016	18	109	900	42	1069	1	13	10	3	27	97.5%
2017	13	139	899	63	1,114	2	5	14	0	22	98.0%

化学系企業・・・公益社団法人新化学技術推進協会（JACI）に加盟する化学系企業

企業における人材需給ギャップ（分野別）

- 企業へのアンケート調査結果を見ると、材料系の企業においては、材料系、情報系の専門性を持つ人材に関して、需給ギャップが発生している傾向。

材料系企業における人材需給ギャップ（アンケート調査結果）

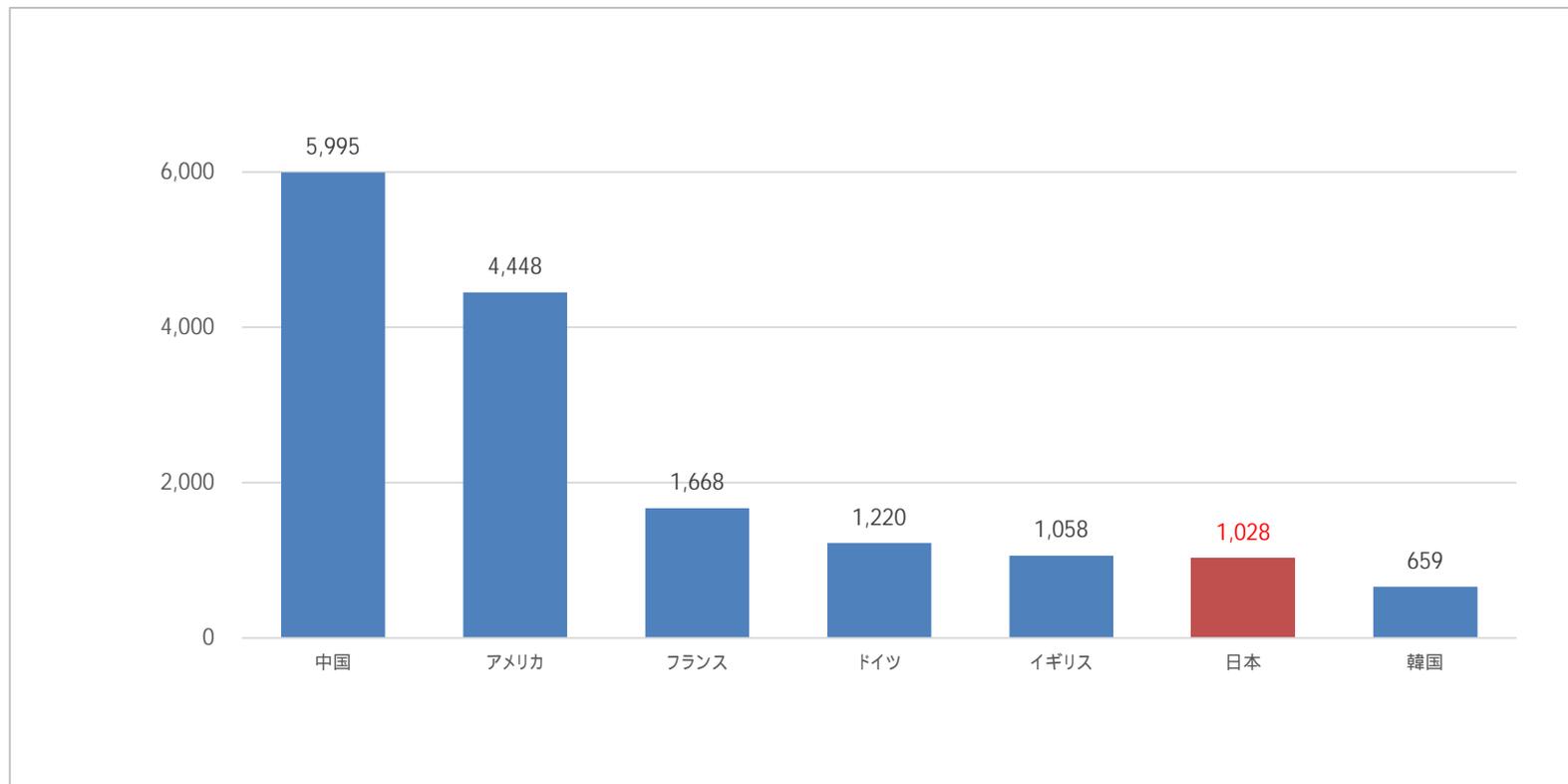


【出典】経済産業省 平成29年度産業技術調査事業 産業振興に寄与する理工系人材の需給実態等調査 報告書

マテリアル分野のデジタル（MI）人材について

- マテリアルズ・インフォマティクスの研究者数は中国・アメリカが突出しており、欧州・日本は横並びの状態。

主要国におけるマテリアルズ・インフォマティクスの研究者数



【出典】特許庁「令和元年度特許出願技術動向調査結果概要 マテリアルズ・インフォマティクス」（2020）より文部科学省にて作成
（注）2010年から18年に発表された論文の論文著者数より集計



日本人若手の応募が減っている！

NIMS研究員（テニチャー）採用状況

年度	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020
応募者数 (外国人)	396 (264)	163 (85)	263 (148)	269 (171)	215 (130)	237 (129)	209 (117)	139 (71)
採用者数 (外国人)	14 (5)	17 (2)	11 (1)	15 (2)	14 (4)	16 (4)	15 (2)	9 (1)

前期データのみ

NIMSポスドク（若手独立研究者）

年度	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020
応募者数 (外国人)	94 (86)	169 (149)	182 (165)	183 (163)	185 (176)	205 (189)	143 (129)	259 (251)	304 (295)	176 (171)
採用者数 (外国人)	9 (6)	10 (7)	10 (5)	11 (7)	6 (3)	9 (6)	9 (4)	5 (4)	8 (4)	進行中
定年制で採用 された数(外国人)	4 (2)	3 (1)	5 (2)	4 (1)	4 (1)	2 (1)	2 (0)	—	—	—

人材に関する現場の主な意見

・現場の研究者からは、**次世代を担う若手人材の不足**や、**中国の存在感が増大している状況**などについて多くの意見があった。

文部科学省参事官（ナノテクノロジー・物質・材料担当）付では、2019年5月から10月にかけて、国内の大学、国研、企業の研究者108名、並びに3団体へのヒアリングを実施。以下は、現場の課題や懸案事項として挙げられた意見の中から、多くの意見があった内容を抽出。

【若手人材の状況について（意見は大学教員又は国研研究者）】

化学や材料分野の研究手法は、地味で大変ではあるが、日本人気質（粘り強い、細かいところに気付ける）に合致し、日本人が多くの成果を上げてきた。ただ最近、**実験で大変、雑用で忙しい、というイメージの分野には人材は集まらない**。また、**政府からこの分野に近年スポットライトを当ててもらえていないことも人気不足に拍車をかけている**。

研究職の魅力が社会に発信できていない。**いわゆるポストク問題や、博士号取得者が就職できないといったことは、この分野には一切当てはまらないのだが、間違った情報が発信されている**。

マテリアル関係の分野では、日本には強い企業があるので、学生が修士課程修了段階で企業に就職することがほとんど。このため、**博士課程進学を希望する学生は元々少ない。ただ、最近さらさら減少している**。

博士課程に行く学生についても、博士進学当初から、アカデミアではなく企業への就職を志望する学生が多くなった。

大学の研究室でポストクを募集しても、**最近優秀な人材を確保できない状況**。優れた人材が来る場合、外国人であることがほとんど。

大学教員が忙しくて自ら研究できていない姿を学生に見せてしまっていることが、アカデミアを志望する人材を減らしている一因。

海外の国際学会で、日本人の若手研究者の存在感がほとんどない。

【中国の動向について（意見は大学教員又は国研研究者）】

中国は、日本の退官した大学教員や企業技術者をどんどん引き抜いている。そうした人が中国に研究室を構え、そこに若くて良い人材が付いていっていることは脅威。

中国は今、巨額の予算を付けて、日本の技術と人を買いに来ている。その背景には、経済が成長して予算が潤沢な間に投資を行い、世界の主導権を取っておかないと、今後高齢化、人口減少が進む中で、インド等他国に負けてしまうという危機感がある。現在、0.1（知の創出）も含めて全方位的に投資しているが、0.1を自分たちで生み出せなければ日本の知を買ってしまえばよい、と割り切って大型投資を行っている。

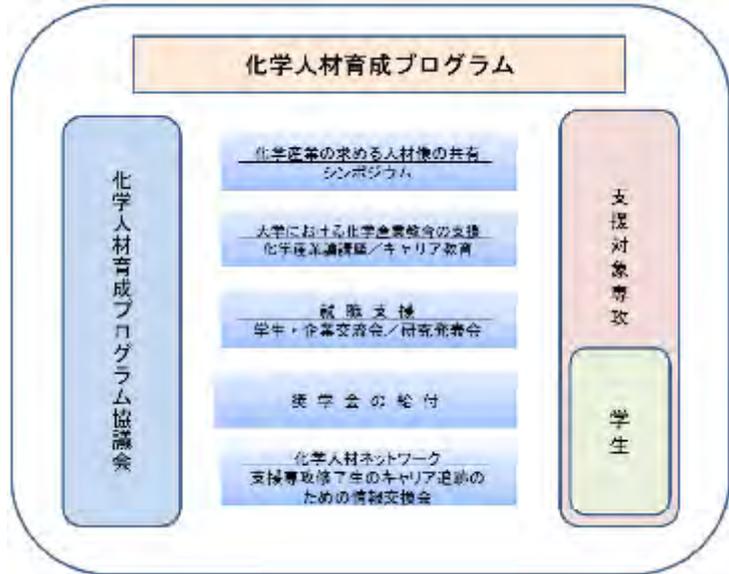
巨額予算をバックに、短期間で人海戦術で戦うような方法では、日本は中国には勝てない。

マテリアル関連の分野の中国の基礎研究のレベルは一気に上がってきている。日本の大学・国研に来ている中国人の若手は、最近日本人の若手よりも優秀であるように思う。

産学連携による人材育成の取組例（化学人材育成プログラム）

日本の化学産業における国際競争力の強化と産業振興の基盤となる若手人材の育成を目的に、**化学産業界が求める人材ニーズを大学に発信し、これに応える大学院専攻とその学生を、奨学金や化学産業教育等を通じて産業界が支援。**

全体像



主催

一般社団法人 日本化学工業協会
化学人材育成プログラム協議会

化学人材育成プログラム協議会会員（33社）

旭化成	A G C	A D E K A	宇部興産
花王	カネカ	クレハ	三洋化成工業
昭和電工	信越化学工業	J S R	JXTG エネルギー
住友化学	住友ベークライト	積水化学工業	ダイセル
D I C	デンカ	東亜合成	東ソー
東レ	トクヤマ	日油	日産化学
日東電工	日本化薬	日本触媒	日本ゼオン
日立化成	富士フイルム	三井化学	三菱ガス化学
三菱ケミカル			

(2020年4月現在、株式会社省略)

【化学産業界が求める高度理系人材像】

特定分野に関する深い専門性に加え、幅広い基礎的学力を持つ人材
課題設定能力に優れ、解決のために仮説を立てて実行できる、マネジメント能力を持った人材
リーダーシップ、コミュニケーション能力に優れた人材
グローバルな感覚を持った人材

支援内容

1. 奨学金の給付：支援専攻の中から、特に優れた人材育成の取組みを行っている専攻を選定し、各専攻から推薦された学生に対して奨学金を給付。（年1人ずつを連続3年間推薦可能。1人あたり月額20万円を3年間支給）
2. 学生・企業交流会の開催：化学系専攻の博士後期課程学生の就職支援を目的とした企業説明会を開催。説明会は東京、大阪で開催され、協議会会員企業が参加。
3. 大学・企業の交流促進：支援専攻と協議会員企業との交流を深めるため、奨学生による研究発表会や、企業で働く先輩博士による講演、産学シンポジウムの開催など、産学の相互理解を促進。
4. 化学産業教育の支援：化学人材育成プログラムが企画する「化学産業論講座」を大学に提供。「化学産業論講座」は、「学問としての化学が産業としての化学にどのように結びついているか」をテーマに、実際に企業で活躍する講師が、化学産業の「過去」・「現在」・「未来」について講演。

対象

大学院化学系専攻・博士後期課程 [支援対象専攻：12大学院17専攻]

産学連携による人材育成の取組例（日本鉄鋼協会）

概要

学生向けセミナー 工場見学バス代支給：鉄鋼の最先端技術や面白さ、重要性、将来の展開を紹介し、さらに、実際の製鉄所を見学する体験セミナーを開催。

鉄鋼工学セミナー：「我が国の企業人材育成活動」の一つとして、大学卒業後数年程度の技術者を対象にして、鉄鋼製造の基礎理論と現場の諸問題を結びつけた集中的な学習会（1975年～）。特徴は、専門分野ごとのコースに分かれ、6日間にわたって講師と受講者が一堂に集い、学び、交歓を深めることにあり、体系的講義とその現場への結びつきとしてのケーススタディ、受講者の発題によるグループ討論を行う（間近の討論課題は「高機能・高付加価値製品の提案」、「理想の鋼材製造プロセス」）

鉄鋼工学アドバンスセミナー：10～15年の実務経験を持つ中堅技術者を対象とし、次代の鉄鋼業の担い手を育成することを目的。各コースとも、他社の技術者とのディスカッションを主体に、既得の知識を存分に活用しながら各自の技術思想の整理・再構築を図ることに主眼を置いた、実践的コースで構成。

学生向けセミナー 工場見学バス代支給		
名称	対象者/内容等	開催時期
学部学生向け鉄鋼を知ろう！「最先端鉄鋼体験セミナー」<中止> (1) 神岡高炉 (2) JFE福山 (3) JFE千葉 (4) 日本製鉄八幡 <2019年度参加者アンケート>	学部学生1～3年生を対象にした大学・企業講師による鉄鋼の概論および製鉄所見学	2020年8月～9月
募集：合計80名(1)～(4)：高炉3社		
学部学生向け製鉄所見学のバス代支給	学部学生1～3年生	2020年4月～2021年3月
修士学生向け「鉄鋼工学概論セミナー」<中止> <2019年度参加者アンケート>	修士学生を対象にした大学・企業講師による鉄鋼の基礎・応用の集中講義、および製鉄所見学	2020年9月
修士・博士学生向け「学生鉄鋼セミナー」 <過去の実施報告>	材料系修士1年・博士1、2年の学生を対象にした研究発表、討議、および製鉄所見学	2020年11月～12月

鉄鋼工学セミナー・資料		
名称	対象者/内容等	開催時期
第47回 鉄鋼工学セミナー 鉄鋼工学セミナー 「資料」テーマ募集 鉄鋼工学セミナー「資料」2021年度テーマ募集案内 【1】 概論 【2】 精錬プロセス解析 【3】 製鋼熱力学 【4】 溶化炉内 【5】 水素還元 【6】 材料制御	数年～10年の実務経験を積む若手技術者、研究者 特定の専門技術や高度の学術分野を深く理解したい方 (鉄鋼工学セミナー一級予者レベル)	2021年7月 随時
参加者：169名(H26)		
高炉3社を含む複数鉄鋼関係企業からの参加者		



鉄鋼を知ろう！

「最先端鉄鋼体験セミナー」参加者募集

主催：(一社)日本鉄鋼協会

「鉄鋼材料」は普段あまり目につきませんが、建築や橋梁、船舶や電車、自動車などの輸送機器、さらに私たちの使うエネルギーの生産や様々な工業生産の設備など、生活だけでなく、産業や経済活動全体に重要で不可欠な素材です。鉄鋼材料を知ることは、最先端の様々な技術や工学分野を学ぶだけでなく、産業や経済、地球規模の資源や環境を知ることになります。

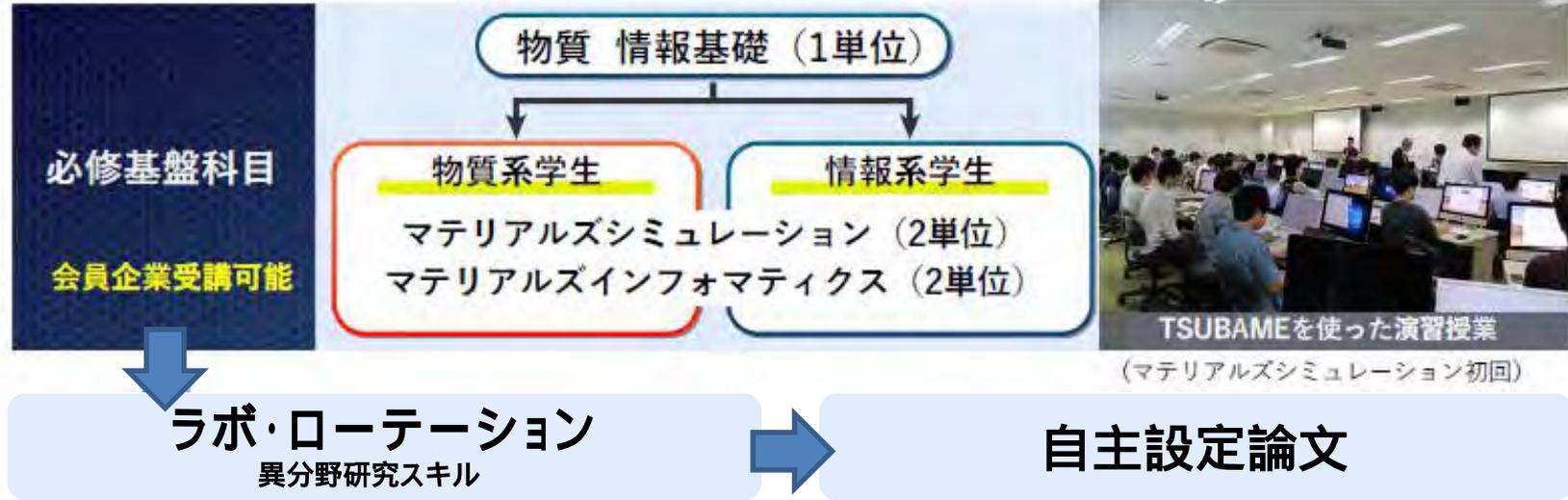
鉄鋼業では、理料系・文科系を問わず多彩な人材が活躍しており、理料系でも材料系だけでなく、機械系、電気系、物理系、化学系、建築系、土木系などあらゆる学科の出身者が活躍しています。今回、鉄鋼の最先端技術や面白さ、重要性、将来の展開を紹介し、さらに、実際の製鉄所を見学する体験セミナーを開催します。きっと「目からウロコ」の発見があります。多数の皆さんのご参加をお待ちしています。

学生向けセミナーパンフレット/日本鉄鋼協会HP アンケートも掲載
<https://www.isij.or.jp/event/seminar.html#seminar>

産学連携による人材育成の取組例（卓越大学院プログラム）

東京工業大学「物質・情報卓越教育院」

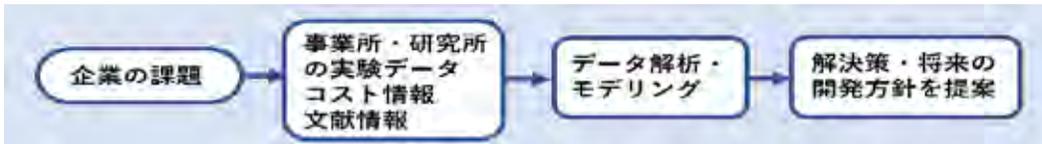
物質・情報教育による**独創力**涵養



実社会での**実行力**涵養

東工大オリジナルの物質・情報プラクティススクール (PS)

教員と学生(8名程度)がチームになり同一企業に6週間滞在。企業の**重要な課題**について、物質科学・情報科学を活用して**技術コンサルティング**を行う。



課題例

- ・企業内で解決が望まれている重要な課題
- ・適切なリソースがなく進められていない課題(MI*の有効性検証等)
- ・企業内に点在しているデータを束ねての解析
- ・歩留まり向上に繋がるプロセス最適化



2019年度の様子

- 2019年度: 旭化成株式会社 **世界初の物質・情報PS**
(課題改善に大きく貢献)
- 2020年度: 会員企業2社にて物質・情報PS実施中
- 2021年度以降: 毎年度2サイトで実施予定

産学連携による人材育成の取組例

次世代電子顕微鏡法社会連携講座



東京大学大学院工学系研究科総合研究機構
「次世代電子顕微鏡法」社会連携講座

参画機関

東京大学（東京大学大学院工学系研究科総合研究機構）、日本電子

期間

2020年4月1日～2023年3月31日（3年間）

概要

- 社会課題解決に向けた次世代電子顕微鏡法の研究開発を行うとともに、次世代電子顕微鏡を高度に応用した材料・デバイス研究を推進できる人材育成を行っている。
- 具体的には、これまで不可能と考えられてきた磁性材料の原子分解能観察を実現する手法の開発、原子レベルでの動的挙動を捉える高速電子顕微鏡法の開発、材料局所における3次元構造を明らかにする解析手法の開発を行い、研究開発を通じ、次世代電子顕微鏡分野を担う大学院生・社会人および技術者の教育を実施。
- これらの研究開発と若手育成を両輪として、山積する社会課題の解決とともに持続可能な社会の実現に貢献。

【出典】東京大学HP（<https://ngem.t.u-tokyo.ac.jp/index.html>）より
文部科学省作成

名古屋大学 未来社会創造機構 マテリアルイノベーション研究所

参画機関

名古屋大学

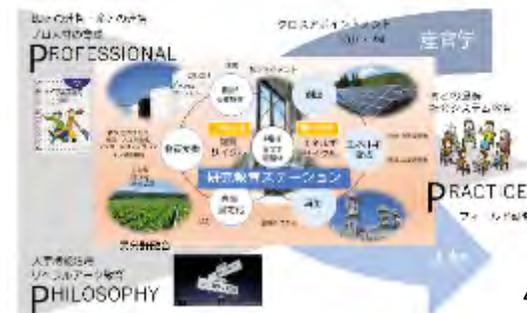


期間

2018年度～（JST『産学共創プラットフォーム 共同研究推進プログラム（OPERA）』も活用）

概要

- マテリアル領域におけるイノベーションに貢献するとともに、産学官連携による社会的価値の創造を行うことを目的とし、2018年度に設置。
- 工学部マテリアル工学科・化学システム工学専攻などの教員、2018年度に採択されたオープンイノベーション機構連携型「物質・エネルギーイノベーション共創コンソーシアム」（JST 産学共創プラットフォーム 共同研究推進プログラム（OPERA））を活用して、博士課程の学生の教育にも貢献。連携プログラムであるOPERAの教育「3P人材育成」の特色。海外機関や産業界への派遣・連携を通じて、実社会で自律的に活躍できるプロ人材を養う（Professional）
大学の特徴を活かしたリベラルアーツ教育による視野の広い人材を育成（Philosophy）
行政・地域との連携を通じて、実社会課題の認識・解決能力を醸成（Practice）



【出典】名古屋大学HP
（<http://chem.material.nagoya-u.ac.jp/>）より文部科学省作成

産学連携による人材育成の取組例

物質科学フロンティアを開拓する Ambitiousリーダー育成プログラム

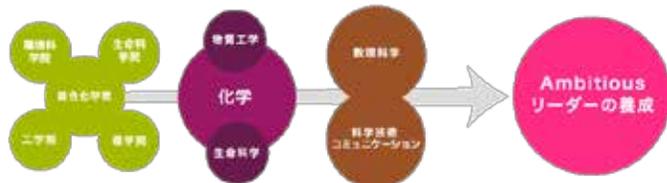
参画機関
北海道大学



期間
2013年度～（2013～2017年度：JSPS『博士課程教育リーディングプログラム』）

概要

- 北海道大学大学院総合化学院、生命科学学院、理学院、工学院、環境科学学院のほか、電子研附属社会創造数学研究センターが連携してカリキュラムを運用。その他学内6つの研究院、センター、学外の研究機関、企業とも連携して学際的な教育、研究を実施。
- 学内人材育成支援組織である科学技術コミュニケーション教育研究部門、工学系教育研究センター、人材育成本部、国際本部、フロンティア化学教育研究センターの強力なバックアップによりグローバルリーダーを育成。



【出典】北海道大学 物質科学フロンティアを開拓するAmbitiousリーダー育成プログラム HP (<https://phdiscover.jp/alp/>) より文部科学省作成

非鉄金属製錬環境科学研究部門 （住友金属鉱山共同研究ユニット）

参画機関
東北大学（多元物質科学研究所）、住友金属鉱山

期間
2018年4月～2023年3月（5年間）



概要

- 資源ナショナリズムの高まり、鉱山の奥地化、環境問題など非鉄金属製錬産業を取り巻く環境は厳しさを増し、国際情勢は急激に変化。また、鉱石の品位低下や忌避不純物の増加など製錬に直接関わる課題も年々拡大。このような状況下で、海外メジャーと対峙し国際競争力を維持していくためには、資源開発や製錬事業における技術革新および優秀な技術者の育成が必要。
- 一方で、資源開発や製錬を専門とする学部・講座・教授の数は減少を続け、1993年に比較して約1/3にまで減少。加えて企業間取引（BtoB）を主とする業態のため、一般への知名度が低く、就職業界として積極的に選択する学生が少ないことが、優秀な人材確保の障害となっている。
- このような状況を大きく転換させるため、業界全体の利益に資する共同研究と次代を担う人材育成を目的とし開設。



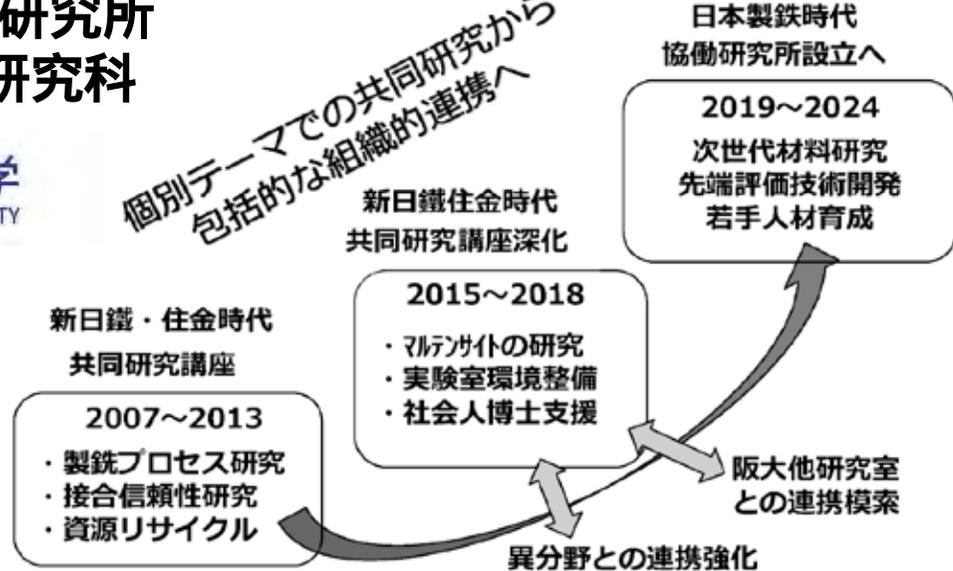
【出典】東北大学HP
(<http://www2.tagen.tohoku.ac.jp/lab/nonferrous/>) より文部科学省作成

産学連携による人材育成の取組例

日本製鉄材料基礎協働研究所 大阪大学大学院 工学研究科



個別テーマでの共同研究から
包括的な組織的連携へ



参画機関

大阪大学大学院（基礎協働研究所）、
日本製鉄株式会社

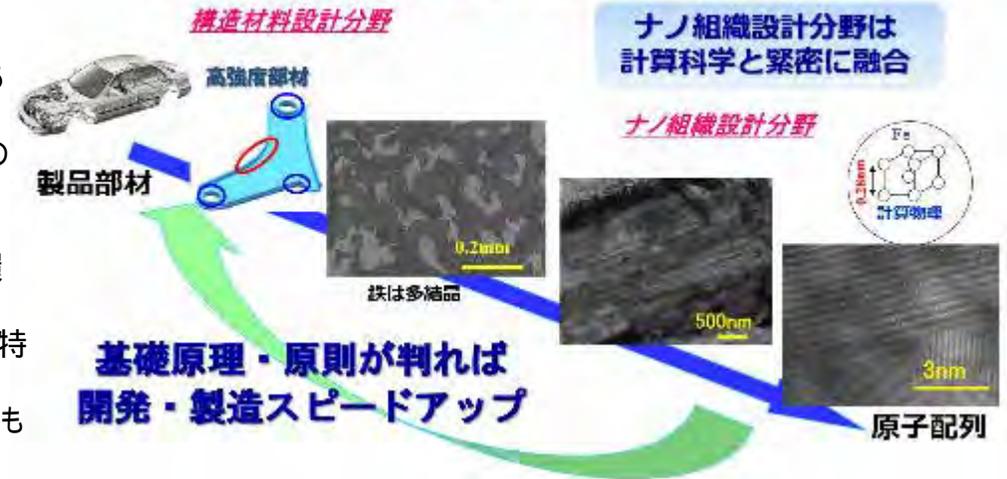
期間

2007年～

概要

- 従来共同研究スタイルから、大阪大学のIndustry on Campus 制度を活用して、これまで、共同研究講座、さらにはその発展形である協働研究所を設立して、産学連携を推進。
- 世の中の鉄鋼ニーズに応じて、個別研究室との共同研究から学内での他分野との連携も深め、材料基礎協働研究所へと発展させ、幅広く材料基礎研究課題を共同研究テーマの形で推進・進化中。
- 単に材料分野だけでなく、情報科学やAI 関係分野、エネルギーや環境問題など、議論の輪は徐々に拡大。
- 鉄鋼材料の機械的特性やその他の様々に要求される特性に対して、特に材料組織学的な要素との因果関係を解明していくことを一つの目標。
- 協働研究所につぐ新しい形、システムでの産学共創を通じて人材面でも新しい産学の交流を促進

電子顕微鏡観察でミクロからナノの世界へ



産学連携による人材育成の取組例

非鉄金属資源循環工学寄付研究部門 (JX金属寄付ユニット)



参画機関

東京大学（生産技術研究所）、
JX金属株式会社

期間

2017年1月～2021年12月（第2期）
第1期：2012年1月～2016年12月

概要

- 製錬技術を利用・発展させ、非鉄ベースメタルとレアメタルに関して新たな環境調和型リサイクル技術を開発するとともに、次代を担う若い研究者・技術者の育成を当該分野の企業と協力して推進。
- シンポジウムの開催を中心に、産官学から多くの業界関係者が集う機会を多数創出し、業界の活性化に貢献。
- 若手人材や専門家への啓発・育成に加え、一般社会、特に高校生以下の若年層およびその保護者に向けて、出張講義、特別講演、理科実験講座等を数多く開催。地道な普及活動（アウトリーチ活動）の実績が認められ、平成31年文部科学省大臣表彰科学技術賞を受賞。

【出典】JX金属株式会社、東京大学生産技術研究所プレスリリース
(https://www.nmm.jx-group.co.jp/newsrelease/upload_files/20190410_01_01.pdf)

東京大学生産技術研究所非鉄金属資源循環工学寄付研究部門HP
(<http://www.metals-recycling.iis.u-tokyo.ac.jp/>) より文部科学省作成

マテリアル・イノベーション・センター



参画機関

東北大学、JX金属株式会社

期間

2020年9月～本格稼働

概要

- 東北大学とJX金属株式会社は、2018年9月5日に組織的連携協力協定を締結。社会全体の発展に寄与するべく、非鉄金属産業分野における研究開発および人材育成等に取り組んでおり、その一環として、JX金属株式会社は、東北大学青葉山新キャンパスに研究棟（「マテリアル・イノベーション・センター」）を新たに建設し、同大学に寄贈。東北大学研究者、大学発ベンチャーを含む国内外の企業、研究機関等が結集した材料科学分野の国際オープンイノベーション拠点としての発展を目指している。
- 東北大学の世界最大規模の材料科学分野の研究者を有する強みと、JX金属株式会社の非鉄素材産業を代表する総合力を合わせ、同センターを活用し、人材、研究成果、装置など様々な部分で更なる連携を行うことにより、戦略的な研究開発と人材育成等を目指す。

【出典】東北大学HP
(<https://www.tohoku.ac.jp/japanese/2020/08/news20200825-00.html> -) より文部科学省作成

デジタル人材育成（産業界）

- データ駆動型研究の推進には、**MIのスペシャリスト、データ駆動型ツールを自らの研究に活用できる人材**、キュレーションや構造化などデータベースの構築に係る人材が必要
- JACIや計算物質科学協議会においてMIを使いこなすための人材育成を実施



JACIの人材育成・確保に係る取組



～『化学×デジタル人材育成講座』の開設～

主催：(公社)新化学技術推進協会(JACI)

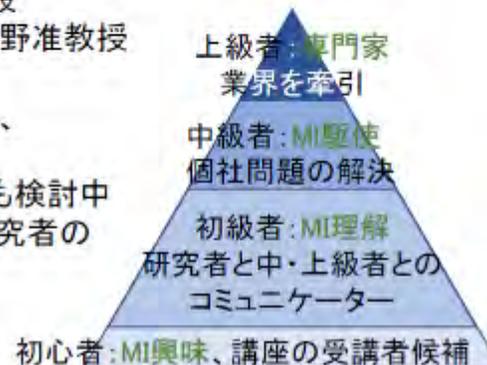
後援：(一社)日本化学工業協会

①目標

- ・**新材料を開発するためにMI(ソフト)・AI(ハード)を駆使できる研究者を育成する。**
- ・化学産業の研究者約3万人の5% = **1,500人を5年間で育成する。**
- ・化学産業のDX・国際競争力向上に貢献する。(DX: デジタルトランスフォーメーション)

②成果

- ・初級編として「**化学×デジタル人材育成講座**」を開設
- ・講師は、東大 船津教授、奈良先端大 金谷教授・小野准教授
- ・座学+プログラミング学習(約40時間/7日間)
- ・2019年度 全2回開催(於: 東大本郷キャンパス 他)、**のべ125社約240名**が受講
- ・2020年度は全3回開催予定、要望の多い関西開催も検討中
- ・中級編として協会内に**情報科学WG**を設置、上記研究者のコミュニティを形成する
- ・さらに、各社マネジメントによる**MI推進WG**を設置、講座のブラッシュアップを担う



デジタル人材育成（アカデミア）

PCoMS（計算物質科学人材育成コンソーシアム）



参画機関

東北大学（主に金属材料研究所）、東京大学（主に物性研究所）、自然科学研究機構分子科学研究所、大阪大学（主にナノサイエンスデザイン教育研究センター）

期間

2015年8月～（JST『科学技術人材育成のコンソーシアムの構築事業（次世代研究者プログラム）』）

概要

- 広範な物質科学領域と基礎、応用、実用化の全段階を俯瞰しつつ、ハイパフォーマンスコンピューティング（HPC）技術を駆使して物質科学分野の課題発見と解決ができる人材育成の環境を整備し、同時に、若手研究者の安定雇用につながる仕組みを構築することによって若手研究者を支援。

下記の2タイプの研究者を育成。

先鋭化された材料科学・物性科学・分子科学の専門性に加え、物質科学全体の素養を持ち、基礎から応用まで全体を俯瞰しつつ、HPC技術を駆使した最先端の計算物質科学研究を進める次世代グローバルリーダーとなる若手研究者（次世代研究者）

計算物質科学の幅広い素養とHPC技術を持ち、かつ、長期インターンシップ等による所属機関以外の異なる研究環境を経験し、企業のニーズ等の理解や国際的な研究動向等を理解したポスドクや博士課程（後期）学生（イノベーション創出人材）

2 . マテリアルを取り巻く状況

(4) 外部環境

カーボンニュートラルと循環経済

2050年カーボンニュートラル宣言

- 2020年10月26日に菅総理より、2050年までにカーボンニュートラルを目指すとする方針を表明。
- 化学産業に起因して排出されるCO₂の大半は、ナフサ分解等の製造プロセス及び廃プラスチックの焼却プロセスである。プラスチック由来の「C」をリサイクルして循環させることもカーボンニュートラル実現に向けた議論の一環として捉え、アプローチを検討する必要。

カーボンニュートラル関連の直近の各国の動向

中国 

2020.09.22 国連総会にて
2060年までにカーボンニュートラル宣言
(中間目標：2030年をピークとして以降減少)

韓国 

2020.10.28 国会にて
2050年までにカーボンニュートラル宣言

米国 

バイデン大統領候補（民主党）の選挙公約
2050年までにカーボンニュートラルを発表
(中間目標：2035年までに電力セクターでネットゼロ)

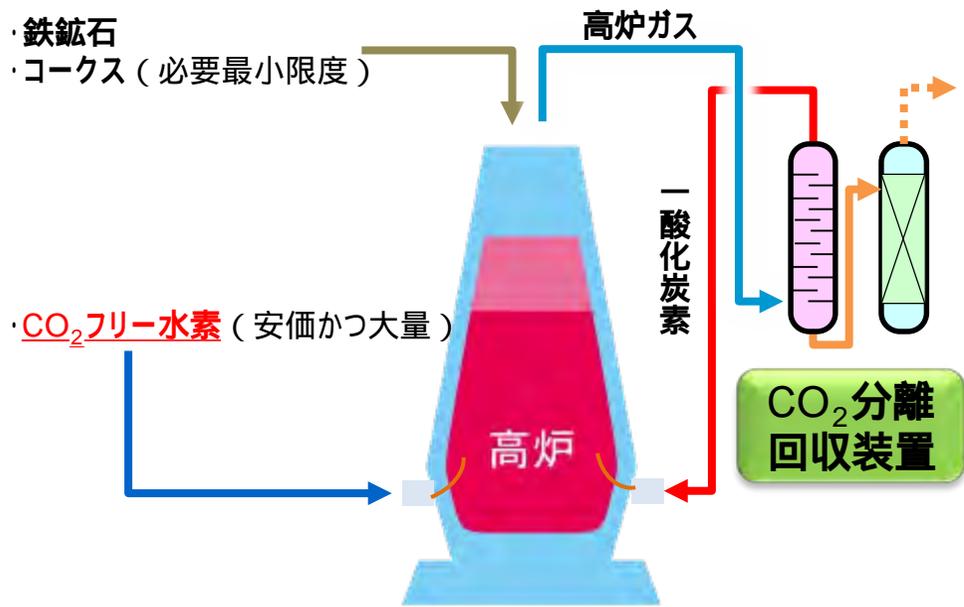
化学産業におけるカーボンニュートラルの考え方



ゼロカーボン・スチール

- 鉄鋼業は、我が国産業部門のCO₂排出のうち約40%（国全体のエネルギー起源CO₂の約15%）を占めており、CO₂排出量の削減は喫緊の課題。特に、全工程におけるCO₂排出量の約8割を占める製鉄プロセスにおけるCO₂排出削減が重要。
- 製鉄プロセスでは、コークスを用いて鉄鉱石を還元するため、大量のCO₂が発生。水素を用いて鉄鉱石を還元することで、コークスの使用量を最小限度まで抑制することができれば、CO₂排出量を激減させることも可能。
- ただし、CO₂排出量を実質的にゼロにできる「ゼロカーボン・スチール」を実現するためには、安価かつ大量のCO₂フリー水素及びCO₂を回収・活用するCCS/CCUSが必要。

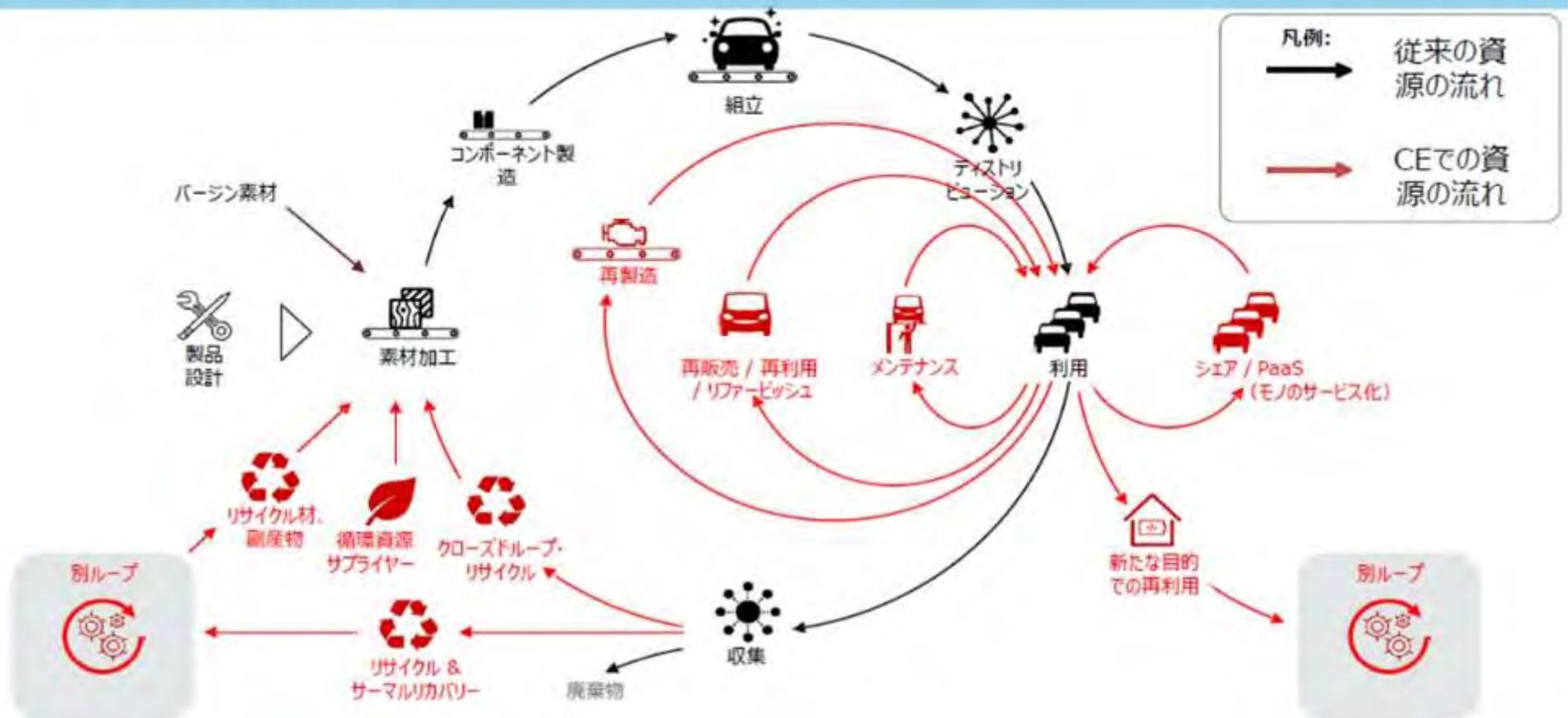
水素還元製鉄（第一段階）のイメージ



「ゼロカーボン・スチール」の実現に向けた試験高炉
(COURSE50、千葉県木更津市)

サーキュラー・エコノミー（循環経済）

- 循環経済とは、従来の「大量生産・大量消費・大量廃棄」のリニアな経済（線形経済）に代わる、製品と資源の価値を可能な限り長く保全・維持し、廃棄物の発生を最小化した経済を指す。
- これは、循環型社会に向けて我が国が推進してきた従来の3Rを、シェアリングやサブスクリプションといった循環性と収益性を両立する新しいビジネスモデルの広がりも踏まえ、持続可能な経済活動として捉え直したものの。

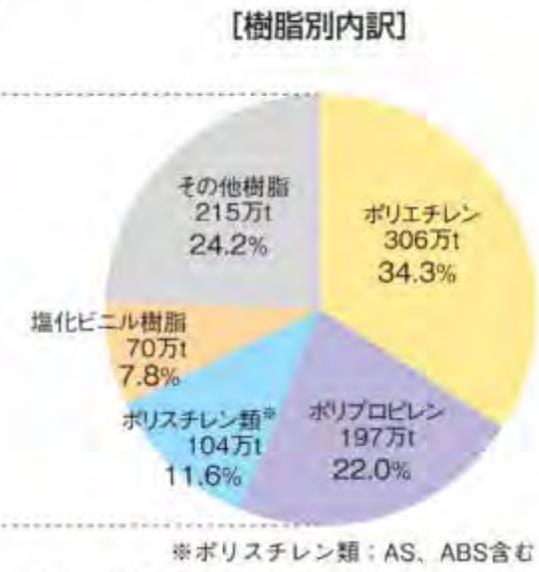
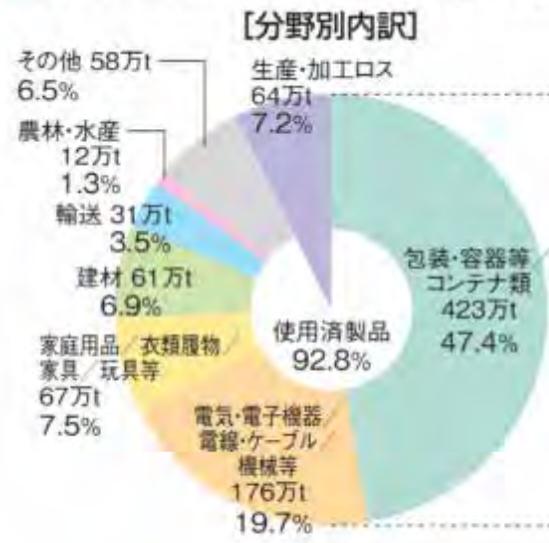


プラスチックリサイクルの波

- 世界的な人口増加及び経済成長に伴う資源の需要・消費量増加により、廃棄物問題がグローバルに顕在化。中国をはじめとするアジア諸国における廃棄物輸入規制等による世界全体のリサイクル・システムの機能不全なども相まって、日本国内にも大きな影響。
- また、海洋プラスチックごみによる海洋環境問題も顕著化し、プラスチック資源の生産・利用・処理方法を今一度見直す必要。



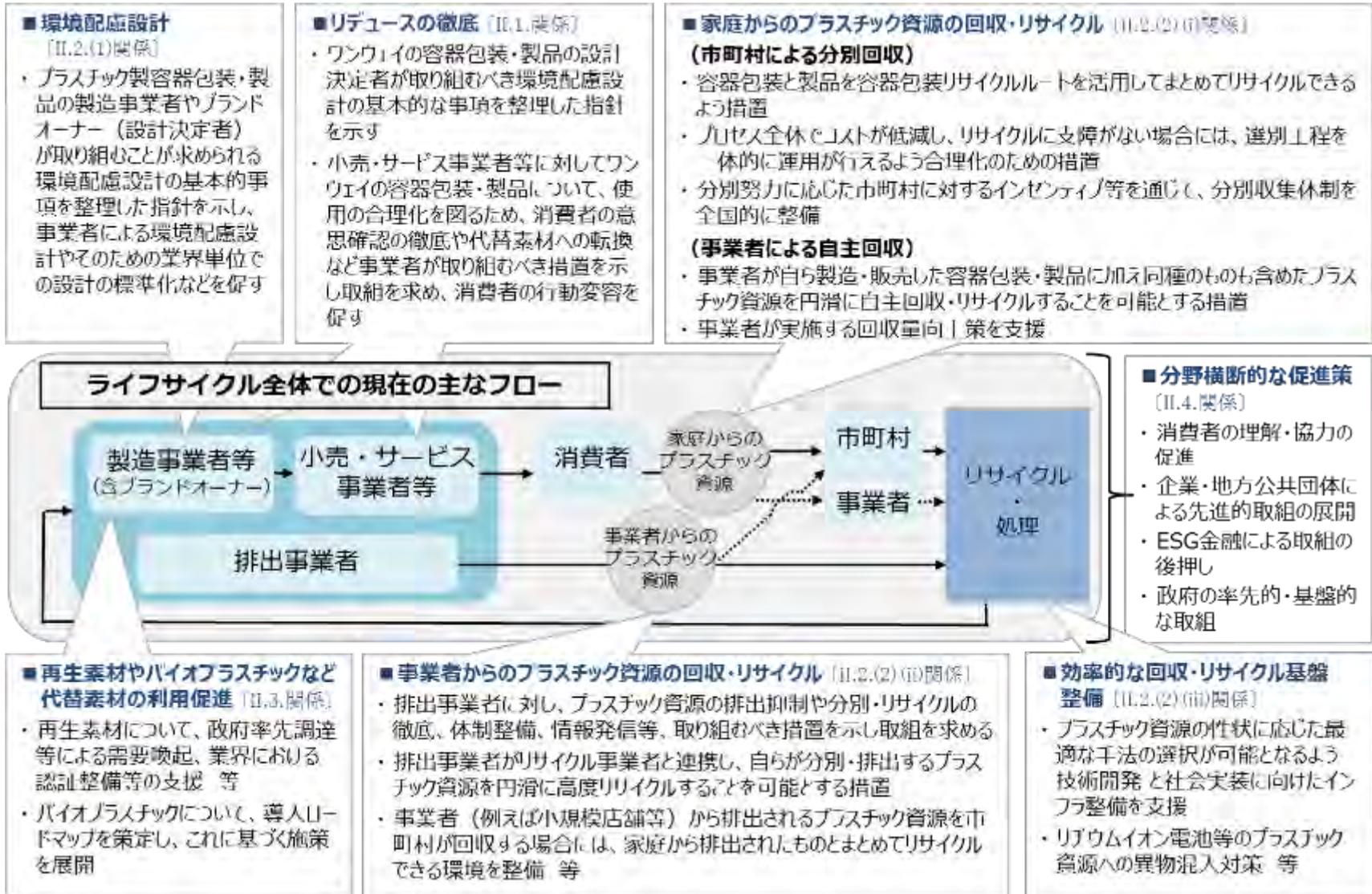
廃プラスチック総排出量 (891万t) の内訳



【出典】一般社団法人プラスチック循環利用協会「プラスチック基礎知識2020」

今後のプラスチック資源循環施策の全体像

- 2019年5月31日、3R + Renewableを基本原則とした「プラスチック資源循環戦略」を策定。
- 2020年5月より、上記戦略の具体化に向けた合同審議会を開始。



プラスチックごみ対策の全体像

1. 海洋流出防止

G20

(2019/6/15-16 G20エネルギー・環境大臣会合@軽井沢、
2019/6/28-29 G20大阪サミット)

- G20大阪サミットで共有された「**大阪ブルー・オーシャン・ビジョン（2050年までに海洋プラスチックごみによる新たな汚染をゼロとすることを旨とする）**」の実現に向け、安部総理は同サミットにて、日本は途上国の廃棄物管理に関する能力構築及びインフラ整備等を支援していく旨を表明。
- そのため日本政府は、廃棄物管理、海洋ごみの回収、**イノベーション**及び能力強化に焦点を当てた、世界全体の実効的な海洋プラスチックごみ対策を後押しすべく、「**マリーン（MARINE）・イニシアティブ**」を立ち上げた。

廃棄物管理	Management of wastes
（海洋ごみの）回収	Recovery
イノベーション	Innovation
（途上国の）能力強化	Empowerment

「**MARINE**」と総称

海洋プラスチックごみ対策アクションプラン

(2019/5/31 関係閣僚会議決)

「新たな汚染を生み出さない世界」の実現に向け、G20の実施枠組構築に先立って、日本国としての行動計画を率先して策定。

【対策分野】

- プラスチックごみの回収・適正処理の徹底（例：国内の廃プラ処理・リサイクル施設増強）
- 海洋に流出したプラスチックごみの回収（例：自治体による海岸漂着物の回収処理を支援）
- イノベーションによる代替素材への転換**
（例：「海洋生分解性プラスチック開発・導入普及ロードマップ」
「クリーン・オーシャン・マテリアル・アライアンス(CLOMA)」）
- 取組を促進するための関係者の連携協働（例：経団連の「業種別プラスチック関連目標」）
- 途上国等における対策促進のための国際貢献（例：ASEANナレッジセンター設立）等

海岸漂着物処理推進法基本方針の改正

(2019/5/31 閣議決定)

- マイクロプラスチック対策等を追加（事業者の使用抑制努力、国の実態調査等）

2. 国際資源循環の管理

バーゼル条約改正

(2019/5/10 採択)

- 「汚れた」プラ廃棄物を輸出入の規制対象に追加（輸出相手国の事前同意義務付け：2021年1月発効）

3. 国内資源循環の強化

プラスチック資源循環戦略

(2019/5/31 関係省庁連名策定)

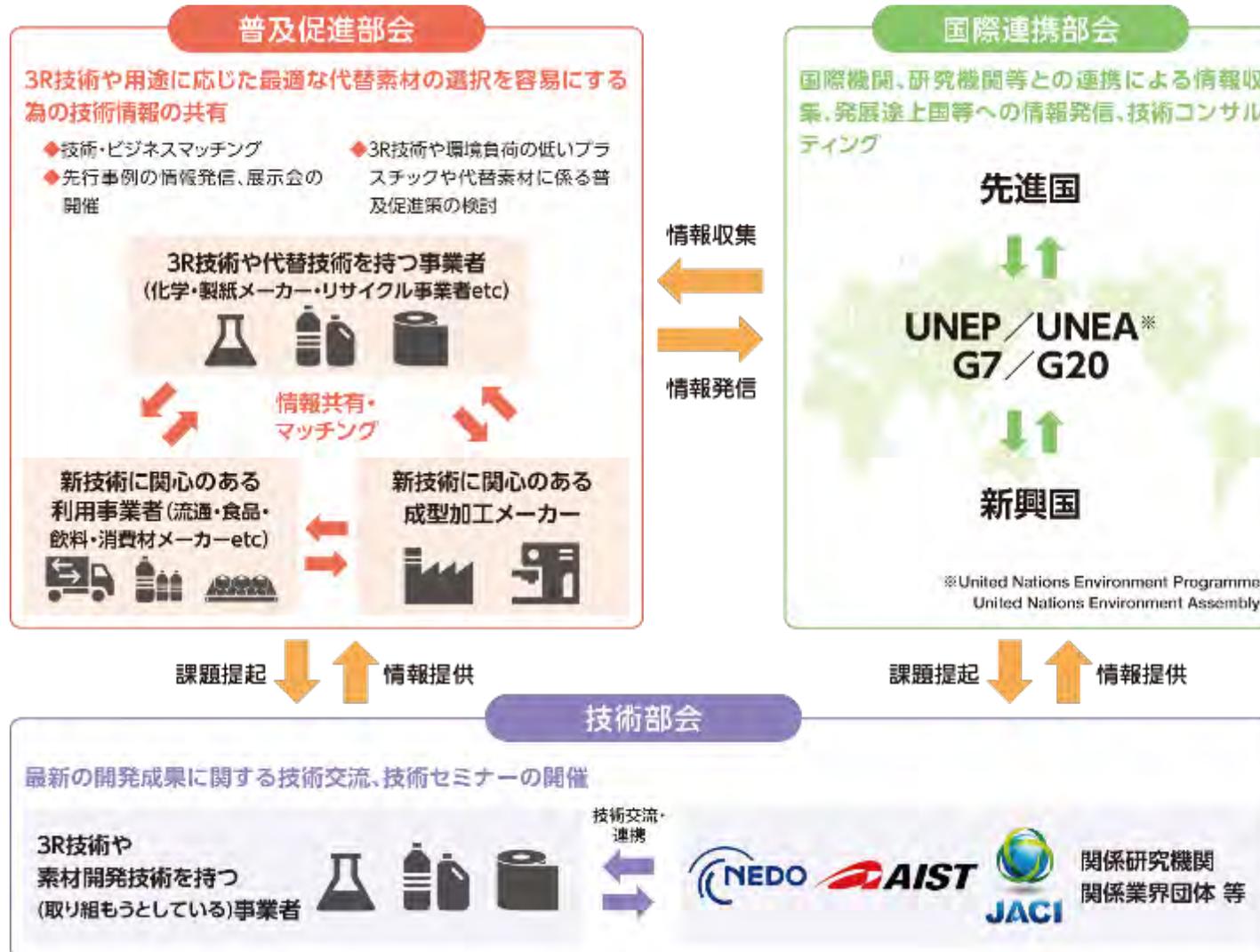
- 3R + Renewable
- <リデュース>
 - ・～2030年 ワンウェイプラ累積25%削減
 - レジ袋有料義務化
- <リユース・リサイクル>
 - ・～2030年 容器包装の6割をリサイクル
 - ・～2035年 使用済プラ100%有効利用
- <再生利用等>
 - ・～2030年 再生材利用倍増
 - ・～2030年 ハイマスプラ200万ト導入

クリーン・オーシャン・マテリアル・アライアンス (CLOMA)



CLOMAの主な活動 (3つの部会活動)

375社・団体
(2020年10月時点)





CLOMAビジネスマッチング事例

CLOMAビジネスマッチングの実績
(2020年2月会員アンケートより)

情報交流	50件
研究開発	18件
事業化検討	8件
事業化	6件



2019.09.05 第2回ベスプライントロセミナー

ビジネスマッチング事例



北村化学産業
発泡バリアトレー

日本製紙
紙製バリア蓋材
SHIELDPLUS®



プラ使用量 40%削減

TOPPAN



GSI Creos

凸版印刷
フィルム製造技術

GSIクレオス
生分解性樹脂
MATER-BI



生分解性プラのレジ袋
2019年12月から販売開始

KANEKA



カネカ
海洋生分解性ポリマー
PHBH®

セブン & アイ
セブンカフェ



2019年11月から
セブンカフェでストロー使用

2 . マテリアルを取り巻く状況

(4) 外部環境 希少資源

カーボンニュートラル社会の実現に必要な鉱物資源

- 2050年カーボンニュートラルに向けては、徹底した省エネを含むエネルギー転換が必須となることから、それらに必要な鉱物資源の安定的な確保が課題。
- 特に、今後普及拡大が見込まれる再エネ発電や電動車（EV、FCV等）の製造に欠かせないレアメタル等の一部は、特定国に埋蔵・生産が偏在することによる供給リスクあり。

システム・要素技術

必要となる主な鉱物資源

再生可能エネルギー部門

発電・蓄電池

風力発電

銅、アルミ、レアース

太陽光発電

インジウム、ガリウム、セレン、銅

地熱発電

チタン

大容量蓄電池

バナジウム、リチウム、コバルト、ニッケル、マンガン、銅

リチウムイオン電池

リチウム、コバルト、ニッケル、マンガン、銅

全固体電池

リチウム、ニッケル、マンガン、銅

高性能磁石

レアース

燃料電池（電極、触媒）

プラチナ、ニッケル、レアース

水素タンク

チタン、ニオブ、亜鉛、マグネシウム、バナジウム



風力発電機器
(希土類磁石)



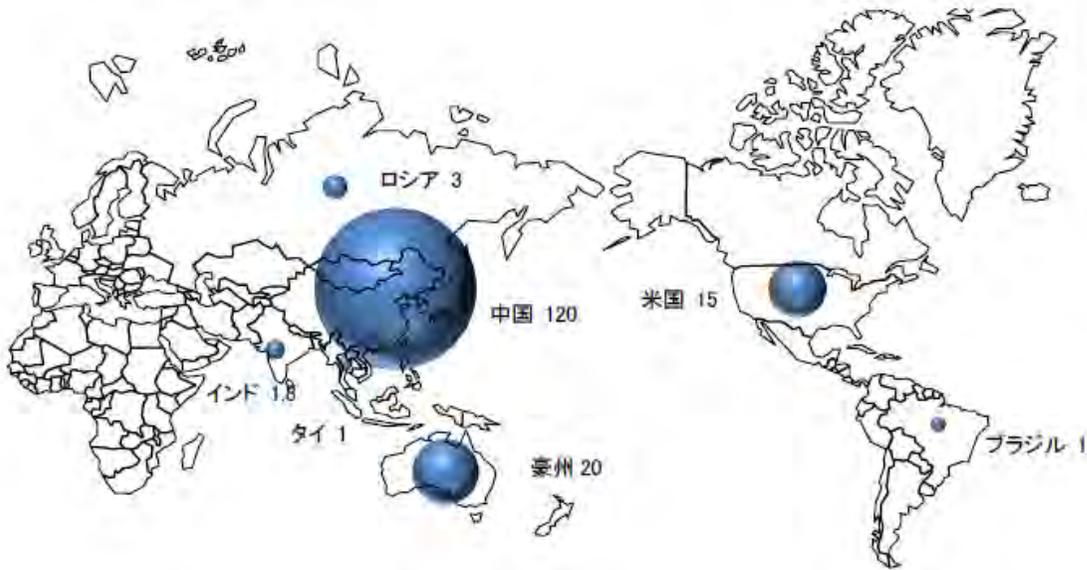
リチウムイオン電池

自動車部門

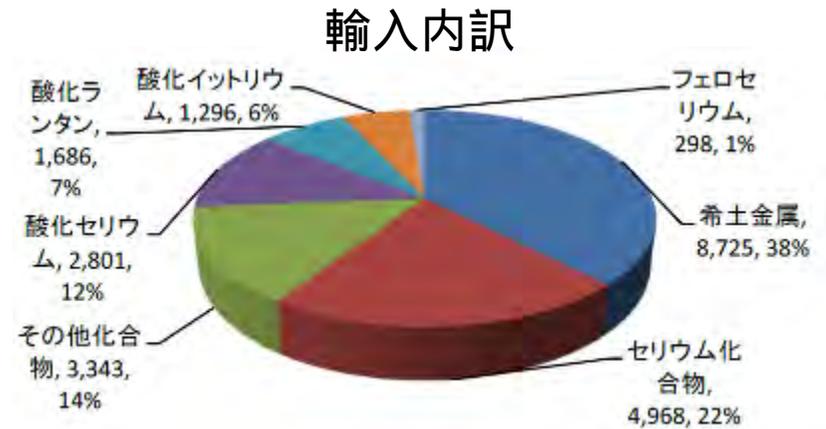
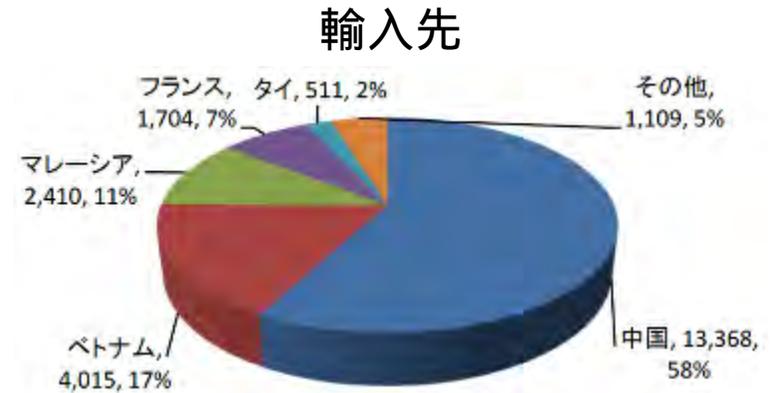
蓄電池・モーター等

レアースの世界の生産国と日本の状況

世界の主要レアース鉱石生産国
(国名、国別生産量 (REO千トン、2018年間値))



日本の希土類金属、
希土類化合物の輸入先、輸入内訳
(国名、数量 (純分t)、構成比% (2018年間値))



我が国の鉱種別自給率

2018年度 鉱種別自給率（日本企業による権益比率量又は輸入量ベース）



■ 自給率（権益ベース）（%）
 = 地金等の生産に要する原料のうち我が国が権益を有するもの等+リサイクル量（①～⑤の合計）/地金等の内需×100

①海外自山鉱：日本企業が権益を有している鉱山の生産量に権益比率を乗じた量（権益量） ※
 ②輸入地金等：日本企業が権益を有している製錬所等からの引取量 ※
 ③スクラップ：国内で発生した市中スクラップ ※
 ④製錬残渣等：国内製錬所で発生する残渣等 ※
 ⑤再生地金等：製造途中で発生する工程スクラップ等 ※

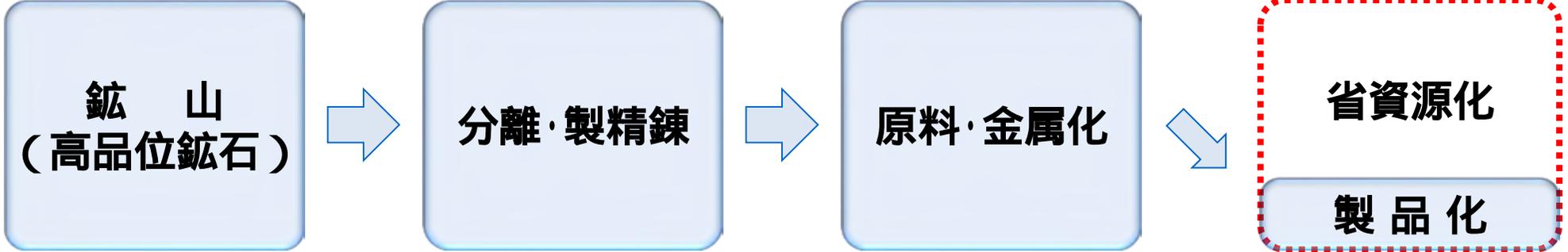
※ 実際の輸入量・引取量が権益量より下回る場合は、輸入量・引取量を採用。

資源制約の克服に向けた取組み

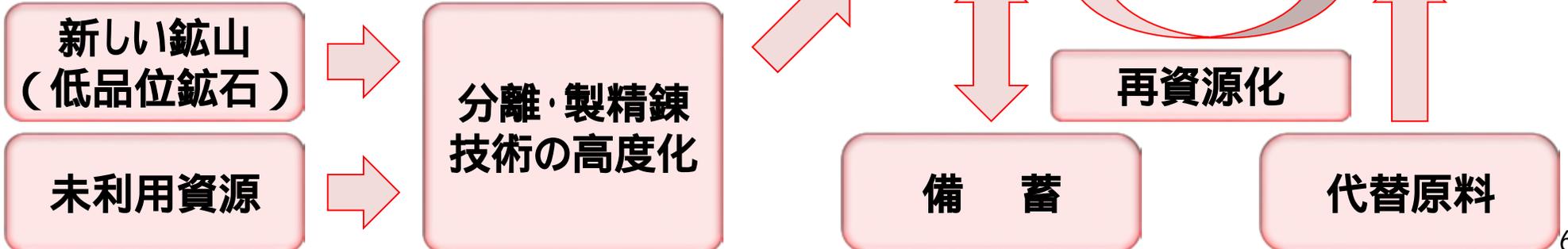
- レアメタル・レアアース等の希少資源の安定確保は、我が国製造業の産業競争力確保のための大前提。特に我が国の競争力の基盤である高度部材・部品の製造業の存立に必要不可欠。
- 資源制約克服のため、新しい鉱山の開発や未利用資源の有効利用（分離・製精錬技術の高度化）、備蓄、再資源化、代替・省資源化に取り組んでいる。

サプライチェーン強靱化に向けた取組

<従来のサプライチェーン>



<新しいサプライチェーン>



新国際資源戦略

- 令和2年3月、経済産業省は「**新国際資源戦略**」を**発表**。同戦略は、資源・燃料政策を取り巻く環境が大きく変化する中で、日本政府の新たな対応の方向性を示すもの。
- 同戦略において、重要鉱物の必要性が強調されるとともに、**日本向けの鉱物資源の安定供給に向け、5本柱の対策が示された**。

鉱種ごとの戦略的な資源確保策の策定

- Ⅰ 資源の偏在性、カントリーリスク、需要の見通し等の観点から鉱種ごとのリスクを定量的に把握し、それぞれリスクに対応するための特性を踏まえた、戦略的な資源確保策を策定する。

供給源多角化の促進

- Ⅰ JOGMEC法の改正（リスクマネー支援機能強化）、債務保証案件の採択に係る審査の合理化

備蓄制度の見直し等によるセキュリティ強化

- Ⅰ 鉱種ごとのリスクに対応するための柔軟な備蓄目標日数の設定、備蓄放出時等における国の関与の強化

サプライチェーン強化に向けた国際協力の推進

- Ⅰ 重要鉱物に関する国際協力体制の構築、相手国側の協力ニーズに応じた技術協力等の取組、JOGMEC のボツワナ・地質リモートセンシングセンターが持つ知見や先進的な衛星画像解析技術等を活用した協力

産業基盤等の強化

- Ⅰ ヒ素等の不純物増加に対応した製錬等の技術開発、リサイクルの推進、人材育成

2 . マテリアルを取り巻く状況

(4) 外部環境 パンデミック

ものづくりに対するコロナ禍の影響（1）

コロナショックにおいて発生したサプライチェーンの寸断

- 現代のサプライチェーンが有する①**効率的な生産体制**（少ない在庫、コスト競争力のある海外での集中生産）、②**陸海空の機動的な物流**、③**人の円滑な移動**という特徴のいずれにおいても供給途絶リスクが顕在化。

新型コロナウイルスを受けたサプライチェーンの寸断の一例



(資料) Global Trade Alert、独立行政法人日本貿易振興機構「地域・分析レポート」、内閣府「景気ウォッチャー調査」、Sixfold, Baldwin "Supply chain contagion waves: Thinking ahead on manufacturing 'contagion and reinfection' from the COVID concussion"

ものづくりに対するコロナ禍の影響（2）

サプライチェーンの特性とコロナショックの影響（自動車、IT製品、医療用品、食料・食品）

- 産業や財のサプライチェーンの特性に応じた生産体制や物流、人、規制等の要因により、コロナショックは異なる影響をもたらした。
- 自動車・IT製品については、部品供給が滞り生産工程が停滞するという点は共通。**自動車**は部品数が多く一部の部品供給の停止で生産停止に。**IT製品**についてはモジュール化により操業継続。
- **医療物資**については、需要が爆発する中で、多くの国で**輸出制限**が行われ、医療物資の一大生産地である中国において工場が再稼働しても、**世界的に供給不足**がみられた。

	自動車	IT製品	医療物資	食糧・食品
工場	部品数が多い。電気自動車は組み立て加工まで多くの工程。モジュール化しやすい。	組み立て加工まで多くの工程。モジュール化しやすい。	部品、製造工程は少ない。	機械化できない作業も多い
物流	海運中心	空運中心	空運（高付加価値）、海運（汎用品）、陸運（全般）	空運（高付加価値）、海運（汎用品）、陸運（全般）
在庫	在庫少	在庫少～多	在庫少～多	在庫多
コロナショック前のサプライチェーン	地産地消で多様化 労働集約的な部品は生産拠点が集中しやすい。	組立は労働集約的 付加価値の高い部材は高度技能者が多い場所に集中	汎用品は労働コストの低い地域に集中しやすい	気候や土地の豊富さに応じて集中
コロナショックの影響	一部の部品供給が滞るだけで生産工程全体が停滞。更に需要低迷を受け稼働停止に。	感染拡大を受け一時期に部品調達と組立加工が困難になるものの操業を続ける企業も多い。	各国において医療物資の需要が急増。多くの国で輸出制限が行われ、世界的に供給不足に。	一部の国では輸出制限も。国境を越える物流で遅延が発生し、農作業で労働者が不足になる地域も。

コロナ禍後の社会変化と具体事例

社会の変化

各国の経済・社会運営の脆弱性露呈
 需要、供給、金融のトリプルショック
 価値観の変化、体制の破壊・淘汰
 普遍的価値の精査・新しい価値の創造
 → 新しい社会像、社会的価値観

変化

1. デジタルシフト
2. 政治体制や国際情勢変化
3. 産業構造、企業行動の変化
4. 集中型から分散型への変化
5. 人々の行動変化
6. 環境問題への意識の変化



社会構造:集中型から分散・ネットワーク型へ

具体事例

医療・感染予防

オンライン診療(IT・AI、センシング技術)



行政

政府:国が雇用拡大、医療物資生産・調達を主導、重要産業へ資本注入
 自治体:知事権限の拡大・強化の要求
 IT化への対応、柔軟な政策の実現
 テレワークシフト(職住一体・職住近接・多拠点生活)に対応した行政運営

都市の変化

人々は(都心の)職場中心から
 自宅・近所・地域中心に回帰

デジタル対応都市の出現に期待
 デジタル技術を中心とする情報ネットワーク空間に対応した社会

都市活動全体のデジタル化・最適化
 自動運転、AI、IT、ロボット技術
 に対応した都市の計画・建設
 医療資源集約、エネルギーの効率化



デジタル対応都市のイメージ

リモート化 オンライン化

教育・家庭

教育格差改善:オンライン授業
 仕事 = 自宅 ⇒ 家族の価値観変化
 要求人材変化 ⇒ 教育の多様化



GIGAスクール構想
 の早期実現

仕事・産業

先端技術(AI、IT、ロボット) = 業務効率化
 競争力人材確保、サプライチェーン変化
 中小企業の集積・スマート化



シェア工場による業務の効率化、省人化

感染症対策や強靱な社会・産業づくりへのマテリアルの貢献事例（1）

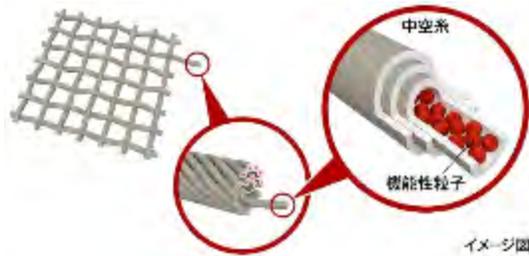
経済産業省事業、所管機関におけるマテリアルの研究開発から、**新型コロナウイルス感染症対策に貢献する、また、新型感染症の拡大に伴う影響からの脱却を図るための取組事例**が生まれてきている。

感染症対策（防疫、治療、診断等）

研究開発

**繊維に抗菌性等の機能性付与を可能とする
マイクロ波処理技術の開発** 【産総研】

- 繊維の中空部分に、選択的に機能性微粒子や結晶を成長させる技術を開発。例えば、**コットンの中空部分に銀ナノ粒子を合成して抗菌性をもつ繊維の製造が可能。**
- 本技術により製造した綿は機能性粒子が中空部分にのみあるため、繊維の特徴は維持しつつ、摩擦等による機能劣化の抑制も期待でき、医療用の病衣、シーツ等への利用が想定。



繊維の中空部分への機能性微粒子導入のイメージ

< 出典等 >
 産総研プレスリリース：発表・掲載日：2020/01/21
https://www.aist.go.jp/aist_j/press_release/pr2020/pr20200121_3/pr20200121_3.html
 経済産業省 令和2年度補正予算
 「サプライチェーン強靱化に資する技術開発・実証」として実施
 NEDO 次世代人工知能・ロボット中核技術開発にて実施（2015年7月～2020年2月）
<https://www.nedo.go.jp/content/100902378.pdf>

サプライチェーンの強靱化

研究開発

**部素材の代替・使用量低減に資する
技術開発・実証** 【経済産業省】

- 供給途絶リスクが高い**レアアースの使用を極力減らす、又は使用しない技術の開発により、サプライチェーンの強靱化を図る。**
- < 重希土類等 >
 使用量を減らしても同等程度の性能を発揮させる技術開発
- < 軽希土類等 >
 品位向上や低品位のままでも利用できる技術開発



重希土類を使用しない磁石の開発（イメージ）

無人化／省力化、リモート社会

研究開発

**人との親和性が高いアシスト機器のための
革新的ソフトアクチュエータの開発** 【NEDO】

委託先：学校法人中央大学

- 人のように粘弾性を制御できる**人工筋肉と機能性流体デバイスの開発、その動作アシストへの応用。**



感染症対策や強靱な社会・産業づくりへのマテリアルの貢献事例（2）

文部科学省事業、所管機関等におけるマテリアルの施策・研究開発から、**新型コロナウイルス感染症対策に貢献する、また、新型コロナウイルス感染症の拡大に伴う影響からの脱却を図るための取組事例**が生まれてきている。

研究開発活動の継続支援

施策

産学官のマテリアル研究開発を支援する共用施設・設備での技術代行サービスの実施

文部科学省ナノテクノロジー・プラットフォーム事業では、実施機関へ出張できない利用者に代わって技術スタッフが試作や測定を行う「技術代行」サービスを活用し、**日本全体の研究開発活動の継続を支援**。令和2年4月時点で、33の実施機関において技術代行を受付。

緊急事態宣言前



お問い合わせ
☎029-859-2777

（出典）
ナノテクノロジー・プラットフォームHP

施策

研究データの共有環境整備やスマートラボ導入など、研究環境のデジタル転換の推進

NIMSでは、材料データプラットフォームを最大限活用し、**実験の自動化**などスマートラボ化への転換を進めており、**実験室での研究活動が制限される中、成果を持続的に創出**。



材料データプラットフォームを含めたスマートラボの概念図

感染症対策能力の強化

研究開発

感染症対策能力の持続的強化に向けた研究開発の実施

大学等の研究現場において、**感染症対応能力の強化に貢献する、あるいは今後貢献が大きく期待されるマテリアルからの研究成果**が生まれている。

病院等で使用する器具や素手で触る箇所の**ウイルス不活性化**を通じた感染リスク低減への貢献

【具体的事例】

- 〇 ウイルスを分解する性能に優れた新しい光触媒材料をはじめとする、**抗菌・抗ウイルス材料**の開発
- 〇 **滅菌効果が高い深紫外線LED**の開発や、当該技術を用いたどこでも使えるUV滅菌機の開発

極微量**ウイルスの迅速検出**や**分離・分解・除去**を通じた**ウイルス蔓延防止**への貢献

【具体的事例】

- 〇 **微細加工技術**や**ナノ物質**を活用した、簡易で高感度な極微量ウイルス検出法や検出センサ、**分離・分解・除去技術**の開発

医療従事者や生活者の**遠隔操作**や**支援ロボット**の**活用**を通じた**感染リスク低減**への貢献

【具体的事例】

- 〇 **遠隔操作技術**や**ロボット向け**の**材料・デバイス**の開発

3 . 諸外国の動向

米国 ナノテクノロジーイニシアチブ：2021予算要求

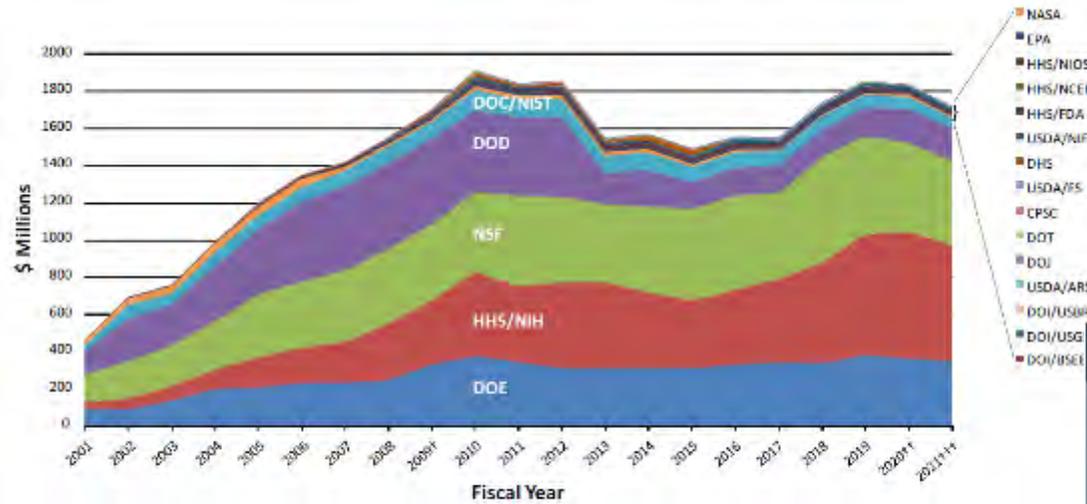


Figure 1. NNI Funding by Agency, 2001-2021.

† 2009 figures do not include American Recovery and Reinvestment Act funds for DOE, NSF, NIH, and NIST.
 †† 2020 numbers are based on appropriated levels.
 ††† 2021 Budget.



- NNIは20年間4代の政権に渡って継続。20省庁が参加する省庁横断イニシアティブ。2021年予算(要求)まで含めると累計310億ドル以上の国家投資。
- 2021年度予算は約17億ドルの要求、前年比6%減。バイデン新政権における方向性は未定(2020.12時点)。2021年1月、NNIを次の10年間へ向けてどう展開するかを議論する「ステークホルダー・ワークショップ」をNNCO (National Nanotechnology Coordination Office)が開催。
- NNI予算の96%は、NSF、DOE、NIH、DOD、NISTの5省庁・機関で占める。

Proposed 2021 Agency Investments by Program Component Area (dollars in millions)*

Agency	1. Nanotechnology Signature Initiatives (NSIs) and Grand Challenge		1a. Nanomanufacturing NSI			1b. Nanoelectronics NSI		1c. NNI NSI		1d. Sensors NSI		1e. Water NSI		1f. Future Computing GC		2. Foundational Research		3. Nanotechnology-Enabled Applications, Devices, and Systems		4. Research Infrastructure and Instrumentation		5. Environment, Health, and Safety		NNI Total
CPSC	0.0	0.0	-	-	-	0.0	0.0	-	-	-	-	-	-	-	-	0.0	0.0	0.0	0.0	0.1	0.1	0.1	0.1	
DOC/NIST	4.7	3.7	-	-	-	0.7	0.3	-	-	-	-	-	-	-	-	10.0	16.1	25.8	1.8	0.2	0.2	58.4		
DOD	13.2	0.4	-	-	-	12.8	0.0	-	-	-	-	-	-	-	-	127.5	29.4	1.7	0.2	0.2	0.2	172.0		
DOE	0.0	0.0	-	-	-	0.0	0.0	-	-	-	-	-	-	-	-	182.3	33.9	136.6	0.0	0.0	0.0	352.8		
DOJ/NIJ	0.0	0.0	-	-	-	0.0	0.0	-	-	-	-	-	-	-	-	0.0	1.5	0.1	0.0	0.0	0.0	1.6		
DOT/FHWA	0.0	0.0	-	-	-	0.0	0.0	-	-	-	-	-	-	-	-	0.0	0.5	0.0	0.0	0.0	0.0	0.5		
EPA	0.0	0.0	-	-	-	0.0	0.0	-	-	-	-	-	-	-	-	0.0	0.0	0.0	0.0	2.0	2.0	2.0		
HHS (total)	21.4	0.5	-	-	-	20.9	0.0	-	-	-	-	-	-	-	-	155.8	392.6	35.9	41.4	647.1	647.1	647.1		
FDA	0.0	0.0	-	-	-	0.0	0.0	-	-	-	-	-	-	-	-	0.0	0.0	0.0	13.6	13.6	13.6	13.6		
NCEH	0.0	0.0	-	-	-	0.0	0.0	-	-	-	-	-	-	-	-	0.0	0.0	0.0	0.1	0.1	0.1	0.1		
NIH	21.4	0.5	-	-	-	20.9	0.0	-	-	-	-	-	-	-	-	155.8	392.6	35.9	16.8	16.8	16.8	622.5		
NIOSH	0.0	0.0	-	-	-	0.0	0.0	-	-	-	-	-	-	-	-	0.0	0.0	0.0	10.9	10.9	10.9	10.9		
NASA	0.6	0.4	-	-	-	0.2	0.0	-	-	-	-	-	-	-	-	4.7	4.6	0.0	0.1	0.1	0.1	10.0		
NSF	93.5	32.0	-	-	-	8.5	13.0	-	-	-	-	-	-	-	-	282.3	73.8	33.4	10.5	10.5	10.5	453.5		
USDA (total)	7.5	2.5	-	-	-	3.0	2.0	-	-	-	-	-	-	-	-	3.8	11.0	1.0	2.0	2.0	2.0	25.3		
ARS	0.0	0.0	-	-	-	0.0	0.0	-	-	-	-	-	-	-	-	0.0	3.0	0.0	0.0	0.0	0.0	3.0		
FS	1.5	1.5	-	-	-	0.0	0.0	-	-	-	-	-	-	-	-	1.8	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	3.3		
NIFA	6.0	1.0	-	-	-	3.0	2.0	-	-	-	-	-	-	-	-	2.0	8.0	1.0	2.0	2.0	2.0	19.0		
TOTAL	100.9	39.5	-	-	-	46.1	15.3	-	-	-	-	-	-	-	-	766.4	563.3	234.6	58.0	1723.2	1723.2	1723.2		

米国 希少鉱物資源対策

- 大統領令「Critical Minerals Executive Order」(2017.12)を受け、DOEのInnovation Hubの一つCritical Materials Institute (CMI) が5年間継続(2018-)。CMIは2012年にAmes研究所に設置、5年間120Mドル。
- 米国の経済・安全保障上の脆弱性要因となりうる希少鉱物の輸入依存の低減と安定供給ルートの確保を目的に、内務省が希少鉱物リストとして35鉱種を指定。
- 商務省が政府機関全体の行動計画を含む希少鉱物の供給確保戦略を発表(2019.6)、リサイクル技術や代替技術の開発、サプライチェーン強化など、希少鉱物の対外依存度低減に向けた方策を取りまとめ
- 2020年9月、大統領令「希少鉱物を敵対的な外国に依存することによる、サプライチェーン脅威への対処」を発出。希少鉱物サプライチェーンの確保と拡大に向け、輸入制限措置を始め、資源マッピングやリサイクル、プロセス技術への資金提供など、必要な行政措置を整備するよう関係省庁へ指示
- CMIでは、希少鉱物資源の国内サプライチェーンの確立に向けた課題に対処するため、産業界と協力して取り組む4つの研究開発プロジェクトを選定(下表、計400万ドル、2020.10)。さらに、次世代の抽出・分離・処理技術に焦点を当てた研究開発のための3,000万ドルの資金提供を発表。

CMIの新規PJ	概要
半連続石灰熱による希土類元素の還元製造	• 磁石製造に必要なレアアース金属の生産と精製を商業化するため、既存のマグネシウム加工装置を適応させる。国内の磁石サプライチェーンにおけるレアアース金属の生産と精製に対応。
Liイオン電池からCo, Li, Mnを回収するためのSO ₂ 浸出と電解析出	• リチウムイオン電池のリサイクル経済性を向上させるために、使用済み電池から金属を分離し、電池製造のサプライチェーンで再利用する。電池の重要材料を再生する新方法を模索。
アイダホ・アイアンクリーク鉱床鉱石からのCo選鉱の改善	• 物理的・化学的分離方法を組み合わせ、不要物質を除去し、アイダホ州中央部のアイアンクリーク鉱床で採掘された鉱石から高濃度のコバルトを精製。コスト、エネルギー消費、発生する廃棄物の削減に役立てる。
ミズーリ州のCoの可能性を解き明かす	• 採掘された鉱石から物質を除去し、ミズーリ州の資源から他の貴重な金属とともにコバルトを回収するための新規かつ経済的なプロセスを開発。米国の外国資源への依存度を30%削減できる可能性がある。

米国 ポストマテリアル・ゲノム・イニチアチブへ向けた展開

大統領科学諮問会議PCASTのレポート「RECOMMENDATIONS FOR STRENGTHENING AMERICAN LEADERSHIP IN INDUSTRIES OF THE FUTURE」において、ポストMGIとしてテコ入れを指摘（2020.6）

<レコメンデーション1.21：MGIを再活性化し、スケールアップすべき>

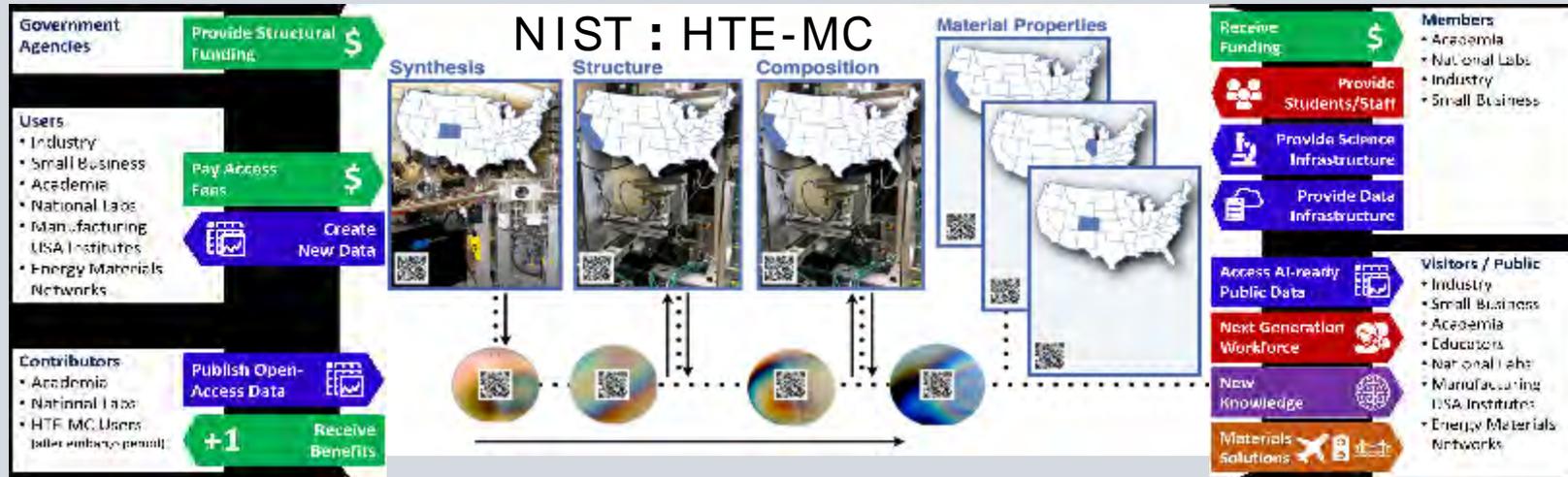
米国の材料イノベーション・インフラの改善による潜在的な経済的利益は、年間1,230億ドルから2,700億ドルと推定。PCASTは以下のアクションを推奨する。

- ・AIと量子をMGIの中心に置き「新たな材料発見の加速ワークフロー」を開拓する。
- ・マテリアル・グランドチャレンジのセットを定義する。
- ワクチンの発見、農業用肥料、リチウム電池などで米国が成功するために、今後5年で発見すべき材料のトップ5、10年間でのトップ10、20年間でのトップ20、の3つのカテゴリーを定義する。
- ・マテリアル・グランドチャレンジのために、DARPA型のコンテストとアワードを立ち上げる。
- ・「新材料発見の加速」ミッションをサポートするために、国研のソフトウェア工学と計算能力への投資を拡大する。

NIST : HTE-MC

High-Throughput Experimental Materials Collaboratory

- n Materials Genome Initiativeの後継の一つでNISTが主導しDOEの国研が参画
- n 材料合成・特性評価・データ管理の統合ネットワーク。研究機関間をデータ/試料が行き来することで材料研究を加速しようという、一種のバーチャル研究所
- n サンプル・ライブラリ（物理オブジェクト）とデータ/メタデータ・レコード（デジタル・オブジェクト）を紐付け、永久コードを付与。QRコードも付与
- n サンプルと新しい測定データを自動的に関連付け



EU Horizon Europe (2021-2027年) : 内容構成と予算

単位: ユーロ

第一の柱 (最先端研究支援) 「卓越した科学」	249億	第二の柱 (社会的課題の解決) 「グローバルチャレンジ・欧州の産業競争力」	538億	第三の柱 (市場創出の支援) 「イノベティブ・ヨーロッパ」	134億
欧州研究会議(ERC)	161億	6つの社会的課題群 (クラスター) ・健康 ・文化、創造性、包摂的な社会 ・社会のための市民の安全 ・デジタル、産業、宇宙 ・気候、エネルギー、モビリティ ・食料、生物経済、資源、農業、環境	518億 (80億) (23億) (19億) (155億) (152億) (90億)	欧州イノベーション会議(EIC)	97億
マリー・スクウォッドフスカ・キュリー・アクション	64億			欧州イノベーション・エコシステム	5億
研究インフラ	24億			共同研究センター(JRC)	20億
参加拡大と欧州研究圏 (ERA)強化					34億
参加拡大とエクセレンス普及	30億	欧州研究・イノベーション(R&I)システムの改革・強化			4億
合計					955億

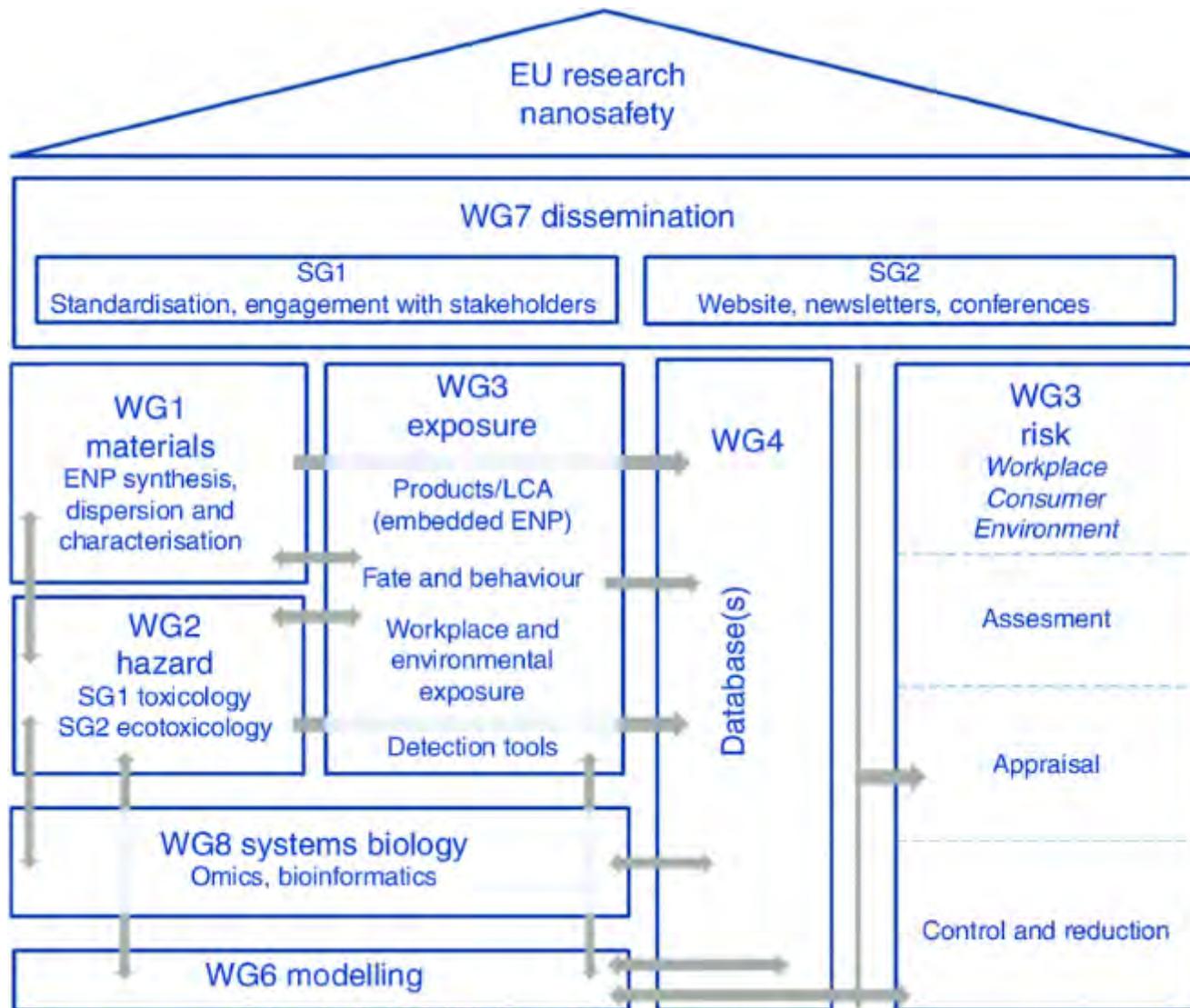
- Horizon2020 (2014-2020年、74.8Bユーロ)のもと、ナノテク・先端材料に継続的に投資。次期プログラム Horizon Europeにおいては、“Advanced Materials”が強化の方向。
- Horizon 2020で注目されたのは10年間総額1.0BユーロのFuture & Emerging Technologies (FET)。“Graphene Flagship”, “Human Brain”, “Quantum Flagship” (進行中)のいずれにおいてもマテリアル研究が深く関係して実施。
- **Graphene Flagship**には、21カ国146機関、1,200人以上が参画。材料、ヘルスケア、センサー、エレクトロニクス、フォトニクス、エネルギー、複合材、製造技術があり、15のワーク・パッケージを推進。顕著な成果として、高性能光検出器や光変調機の開発など。論文数3,114報、スピンオフ企業12社
- PPPによる **ECSEL** (Electronic Components and System for European Leadership) : 総額5Bユーロ (EU 1.2B、各国 1.2B、企業 >2.6B) を実施。さらに、デバイス設計・作製を行うインフラとして **ASCENT** (Access to European Nanoelectronics Network) があり、LETI、IMEC、Tyndall National Institute (Ireland) の連携で2015年に開始。先端CMOS、ナノワイヤ、二次元材料、FINFETなどの最先端プロセスを提供。
- “**Battery 2030+**” イニシアティブ(2019.3-) Horizon 2020において40.5Mユーロ投資

(出典) 国立研究開発法人科学技術振興機構 研究開発センター作成資料より抜粋

EU Nano Safety Cluster



- ナノマテリアルのリスク評価、伝達、情報交換のツールを開発し、リスク管理の基盤を構築するという明瞭な目標を設定。
- EU全体の主要研究機関及び規制官庁の共同で巨大Clusterを形成しプログラムを推進。この枠組み・傘下に多数の新プロジェクトを発進させる構造が確立されている。
- Clusterのもと、規制当局や国研のほか、大学、NGO、NPO、産業界、シンクタンクなど、多様なステークホルダーがプロジェクトに参画。
- 欧州化学品庁ECHA や各国におけるナノ材料登録規制に貢献
- 近年は対象をナノマテリアルのみならず、Advanced Materials に拡張



独・英・仏 マテリアル研究開発関連政策

国	マテリアル関連政策
ドイツ	<ul style="list-style-type: none"> 「ハイテク戦略2025」(2018-)。自動車・機械・化学を支える未来技術として、マイクロエレクトロニクス(5G)、材料(電池、3Dプリント、軽量化、製造技術、宇宙航空)、バイオテクノロジー、ナノテクノロジー、人工知能(機械学習、ビッグデータ)、量子技術。 連邦教育研究省(BMBF)「材料からイノベーションへ」基本計画を発表。2024年に向け毎年1億ユーロを計画。 <ul style="list-style-type: none"> 発電タービン材料、電気貯蔵システム用材料、EVバッテリー技術、水素貯蔵システム用材料、セルフクリーニング・抗菌材料、空気・水フィルター材料、医薬品製剤用材料、循環型材料社会の構築、希少原料代替、リサイクル、建築用断熱材、防汚性塗料、光触媒、インテリジェント材料、ハイブリッド材料、炭素材料、磁性材料 特に電池に関しては、バリューチェーン全体(原材料、部材、セル製造、トータルバッテリーシステム)をドイツでカバーすることを目指す。 デジタル関連では、材料革新によってプロセッサ、データストレージ、伝送技術などの情報通信技術を開発。さらにマルチスケールモデリングやシミュレーション、デジタルツイン、データ科学により材料創製を革新 「水素戦略2020」。水素製造技術、Power-to-X技術の商業化、水素製造・輸送・貯蔵・利用の安全性確保と関連する計測技術・監視技術の革新に取り組む。
イギリス	<ul style="list-style-type: none"> ブレクジットに備えた産業戦略チャレンジ基金(2017-)。製造技術・新材料(26Mポンド/4年、2017年)、量子技術(20Mポンド/4年、2018年)、量子技術実用化(70Mポンド/4年、2019年)等。 ビジネス・エネルギー・産業戦略省(BEIS)は研究インフラへの投資、2021年度までに58億ポンド。サー・ヘンリー・ロイス先進材料研究所(マンチェスター)に1.26億ポンド、ライフサイエンス・物理科学全英中核研究センター(オックスフォード)に1.03億ポンドなど。また、新技術とイノベーション支援への投資(2020~2021年)として、材料加工研究所(Materials Processing Institute)に22Mポンド。 UK Nanotechnologies Strategy(2010-)。対象には、医療技術、製造技術、設計技術、機器・機械技術、構造材料など。2014年に設定した重点8技術の一つが、ナノテクノロジー・先端材料。 UK COMPOSITES STRATEGY(2009-)。「高付加価値製造カタパルト」において国立複合材料センター(National Composite Center)をブリストル地区に設立。年間20億円規模
フランス	<ul style="list-style-type: none"> 「SNR France Europe 2020」(2015-)：10の社会的課題に対する重点的研究方針として、希少資源への依存度減少、化石燃料からの脱却、新材料設計、センサーを特定。 「Nano 2022」：2018-2022年に10億€。自動運転・5G用次世代マイクロエレクトロニクスの研究開発拠点および製造拠点を形成。

中国・韓国のマテリアル研究開発関連政策

国	マテリアル関連政策
中国	<ul style="list-style-type: none">• 国家中長期科学技術発展計画綱要（2016-2020）<ul style="list-style-type: none">- 先端技術8分野の一つに「新材料技術」、重大科学研究4分野の一つに「ナノ研究」• 国家イノベーション駆動発展戦略綱要（2016～2030年）• 国家重点研究開発計画の一つとして「材料ゲノム工学のキテクノロジー」と支援キテクノロジーを開始（2016-）• 中国製造2025 半導体自国化へ向け投資拡大。R&D投資を対GDP比で1.5%程度から3%程度へ引き上げる。• 国家レベルで複数のナノ科学技術拠点を設置済。国家ナノ科学技術センター（NCSNT）（北京）、国家ナノテクノロジー・工程研究院（天津）、ナノテクノロジー・応用国家工程研究センター（上海）、国家ナノテクノロジー国際イノベーションパーク（蘇州）• 蘇州工業園区、NanopolisやBiobayが成長。CAS傘下のナノテクノロジー・ナノバイオ蘇州研究所（SINANO）では材料の合成、特性評価、デバイス製造の全プロセスを、1つの超高真空環境下に統合したナノテク真空相互接続実験装置（Nano-X）を設置。2019年からオープンプラットフォームとして提供
韓国	<ul style="list-style-type: none">• 第4期ナノ技術総合発展計画（2016-2025）米国の技術レベルを100%としたときに、92%まで到達させる• 第3次National Nanotechnology Map（2018-2027）<ul style="list-style-type: none">- 70のコアテクノロジーを同定。ポータル人工知能、ポータル無線通信、無人飛行機、超急速充電電池などの開発を推進- ナノファブ・センターの機能高度化とともに、実習中心の専門人材教育プログラムを企業と連携することで、雇用創出。企業における技術の商業化のサポートにより、ナノ融合産業の雇用を拡大。- ナノ安全基準の設定、認証システムの確立など、ナノ物質とナノ物質を含む製品の全サイクル安全管理システムを構築。• 革新成長に向けた人中心の第4次産業革命対応計画（I-KOREA4.0）（2017）ではナノテクノロジー・材料に関連する未来型新産業として、EV・水素自動車、半導体、ディスプレイ、炭素産業、製薬・バイオ・マイクロ医療ロボットなどの医療機器産業を育成• 未来素材源泉技術確保戦略（2018）「30の未来素材」を導出し中長期R&D投資戦略を取りまとめ• ナノ総合技術院（旧ナノファブ・センター）をKAISTを中心に全国6か所運営。超低消費電力ナノデバイス、フレキシブルディスプレイ、インテリジェントセンサなど、産業需要が急増している分野の標準的な工程を構築。ナノ融合先端デバイスの公認試験・認証機関へと発展させる

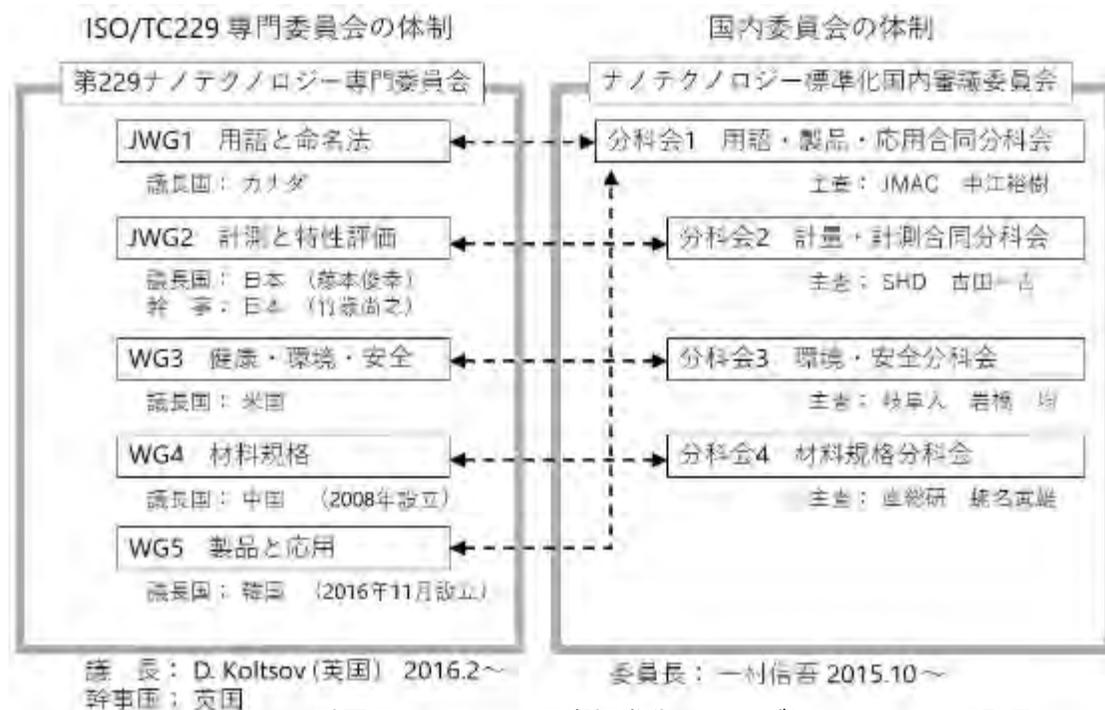
インドのマテリアル研究開発関連政策

国	マテリアル関連政策
インド	<ul style="list-style-type: none">• 2018年から、科学技術省 科学技術局（Department of Science and Technology: DST）とドイツDFGと共同で、材料科学・工学分野の共同プロジェクトを開始するなど、マテリアル分野において積極的な国際共同研究を推進。• DSTでは2001年以来、Nano Science and Technology Initiative（NSTI）を推進。2007以降は National Mission on Nano Science and Nano Technology（Nano Mission）を2020年まで継続。• 基礎研究の促進、ナノサイエンス・ナノテクノロジーのインフラ整備、産業応用開拓、フェローシップを通じた人材育成、国際共同研究促進が掲げられ、それぞれのミッションごとに公募を行っている。• ナノ科学・ナノテクノロジーに関する人材育成プロジェクトを支援し、全国のいくつかの研究所にナノ科学技術研究所の基盤を構築することにより、当該分野のエコシステムを構築している。• エレクトロニクス・情報技術省では、ナノエレクトロニクスセンターを国内主要研究機関に設置している。これらセンターの最先端ナノ加工施設は、インド・ナノエレクトロニクス・ユーザー・プログラム（INUP）により、インド理科大学院とインド工科大学 ボンベイにある、Centre of Excellence in Nanoelectronics（CEN）を中心に、研究開発コミュニティへナノエレクトロニクスの研究とスキル開発を行うための施設を提供。毎年約400人の研究者が微細加工プロセスの現地訓練を受けている。• CENで開発された技術の一部はインドの新興企業にライセンス供与されている。さらに、CENは国立研究所と密接に協力し技術開発を推進。ナノエレクトロニクスの最先端研究を通じたインドの半導体製造のためのエコシステムの開発、国内の社会・産業的要請に応える製品・デバイスの開発、世界クラスのナノテック製造施設の創設に重点を置いている。• Clean Energy Material Initiativeを2016年より推進

ISOにおけるナノテク・ナノマテリアルの国際標準化動向

- ISO/TC229 (ナノテクノロジー) においてナノテク・ナノマテリアルの国際標準化が進められており、幹事国は英国。
- ナノ材料の、用語・命名法 (JWG1)、計測と特性評価 (JWG2)、環境・健康・安全 (WG3)、材料規格 (WG4)、製品と応用 (WG5) の5つのワーキンググループにより構成。
- これらのうち、用語・命名法ならびに計測と特性評価のワーキンググループはIEC (国際電気標準会議) /TC113 (ナノエレクトロニクス) と合同ワーキンググループ (JWG: Joint Working Group) を形成。
- 2020年現在で P- メンバー (Participating members) 36 개국、O- メンバー (Observing members) 18 개국が参加、2005年のTC設置以来81の規格文書を出版、ISOのなかでも最も活発に活動が展開されている技術委員会の一つ。
- 後から設置された二つのWG、**材料規格 (2008年設置) は中国が、製品と応用 (2016年設置) は韓国が、各々提案してコンピナーを獲得しており、中国や韓国が主導的立場の確保に動いている。**

- 用語・命名法WGのスコープは、ナノ材料における一義的かつ一貫した用語及び命名法を定義し、開発することであり、新技術の普及には不可欠。
- これまでに、ナノ粒子やナノファイバーなどのナノ物質に関する用語、CNTなどの主に炭素から成るナノ物質に関する用語、ナノ物質のキャラクタリゼーションと計測方法に関する用語、医療応用に関する用語、加工製造に関する用語などの多数の規格を出版。
- 今後は、グラフェンやリポソーム、ナノ空孔を有する構造材料など、応用分野における新規材料に対応する。
- 米国主導で、ドラッグデリバリーシステムへの応用が進んでいるリポソームに関するスタディグループが立ち上り、リポソームに係る用語規格の予備検討が始まった。TSとして整備される可能性があり、定義された用語に基づき、計測法の規格や安全性に関する規格が今後提案されると考えられる。



引用図: ナノテク国際標準化ニュースレター[2020特別号]
ナノテクノロジー標準化国内審議委員会事務局

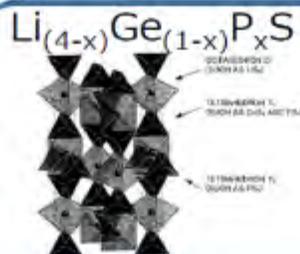
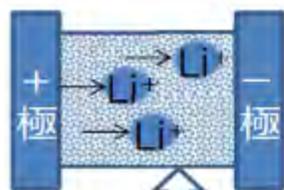
4 . 重要技術領域

(1) マテリアルズ・インフォマティクス

データ駆動型の研究開発が世界的に進展（1）

デジタル革命によるAIやビッグデータの発展が、マテリアルの研究開発手法を大きく変革しており、**データ駆動型の研究開発が世界的に進展**している。

- ✓ 米国では、2012年に「Material Genome Initiative」の研究者が中心となり、日本が発表した電池材料の論文情報に基づき、コンピューターシミュレーションを実施
- ✓ その結果、日本のA社の未公開特許（出願はA社が先）の実験データと同等の物性値を算出



固体電解質

（固体でもリチウムイオンが移動できる物質）



リチウムイオンの移動速度が電池の定常出力を決める

海外では、インフォマティクス的な手法を活用し材料開発を既に実施！

国内

2011年5月：国内A社 特許出願
（特許公開は2012年11月）



リチウムイオンが速く動ける
構造を持つことを**実験的に**見出した
従来型研究

海外

'12年10月：韓国B社・MIT論文公開
*この系の開発情報なく、突然特許公開前に論文発表



実験なしでデータ分析だけで
実験と同じ結果を導出
マテリアルズインフォマティクス的手法

米国“Material Genome Initiative”の中心研究者が深く関与し推進

【出典】文部科学省作成資料を基に経済産業省作成

データ駆動型の研究開発が世界的に進展（2）

データ駆動型の研究開発に対して、2011年以降、主要国の政府や企業が投資を強化。

主要国政府のマテリアル×データの取組

国	概要
米国	<p>Materials Genome Initiativeを2011年に立上げ。マテリアル開発の短期化・低コスト化に向け、従来の実験、計算に加え、データの重要性に着目。2014年6月に「Strategic Plan」を公表。2016年までに約5億米ドル（約560億円）を投資。</p> <p>NIST, NSF, DOE, DoDなどで関連プロジェクトを実施（下記は代表例）。</p> <p>CNGMD（ローレンスパークレー国立研究所、UCバークレーなど）、SUNCAT Center（スタンフォード大、SLAC国立研究所）、CHiMaD（NIST、ノースウェスタン大、シカゴ大など）、PRISMS（ミシガン大）</p> <p>データプラットフォーム（レポジトリ）も各所で構築。</p>
欧州	<p>EUの枠組みでNOMAD（Novel Materials Discovery）プロジェクト（2015～2018：約500万ユーロ（約7億円））を実施。マックスプランク協会フリッツ・ハーバー研究所が中核。</p> <p>スイスは独自にMARVEL（Materials' Revolution: Computational Design and Discovery of Novel Materials）プロジェクト（第1フェーズ：2014～2018で約1800万スイスフラン（約20億円））を実施。スイス連邦工科大学（EPFL）が中核。</p>
アジア	<p>中国では、2016年、国家重点研究開発計画の一つとして、「材料ゲノム工学のキーテクノロジーと支援プラットフォーム」（約3億元（約50億円）/5年）を開始。上海、北京において大学を中心に拠点を構築。</p> <p>・上海大学に「Materials Genome Institute」（2015年）、上海交通大学に「材料ゲノム共同研究センター」（2016年）を設立。</p> <p>・中国科学院物理研究所・北京科技大学、中国鋼研科技集团有限公司等が共同で「北京材料ゲノム工学イノベーションセンター」（2017年）を設立。</p> <p>韓国では、2015年から10年計画で「Creative Materials Discovery Project」を実施（採択課題あたり最大約2.4億ウォン（約2500万円）/6年）。2016年、韓国科学技術研究所（KIST）に「Materials Informatics Database for Advanced Search（MIDAS）」を設置。</p>

【出典】科学技術振興機構（JST）研究開発戦略センター作成資料を基に文部科学省作成

マテリアル開発をAIで支援するスタートアップ（例）

シトリン・インフォマティクス@シリコンバレー

- **2013年**に創設されたスタートアップ企業
- マテリアルデータベースにAIの機械学習機能を統合して、求められる条件に最適化された組成を選び出すなど、マテリアル開発を加速するソフトを開発。
- 投資家にはアルファベット（旧グーグル）元会長のエリック・シュミット氏やヤフー創業者のジェリー・ヤン氏らが含まれている。

【出典】三菱総合研究所「17号 フロネシス 知財誕生！」より文部科学省作成

日本におけるマテリアル×データの取組動向

- 我が国政府では、**2013年**にJST研究開発戦略センターが戦略プロポーザル（ ）においてデータ駆動型物質・材料開発の重要性について政府に提言を行ったことをきっかけに、**2015年**にNIMSを中核機関とする「情報統合型物質・材料開発イニシアティブ」が発足。その後、内閣府（SIP）、文科省、NIMS、経産省、AIST等が取組を強化。
（ ）「データ科学との連携・融合による新世代物質・材料設計研究の促進（マテリアルズ・インフォマティクス）～物質・材料研究を飛躍的に発展させるための新たなパラダイムシフト～」
- 企業においても、特に**2017年以降**、素材メーカーで、IT関連投資を拡大させる動き
- **2017年10月** 日立製作所
新材料開発の期間・コストの削減を支援する「材料開発ソリューション」提供開始
AIを活用したマテリアルズ・インフォマティクスに基づくデータ分析支援サービスなどを提供
- **2017年10月** 横浜ゴム
インフォマティクス技術を活用したタイヤ設計技術を開発
- **2019年6月** 三菱ケミカル株式会社
統計数理研究所と三菱ケミカルの共同研究部門設置について
- **2019年10月** 住友ゴム工業株式会社
タイヤの性能持続技術開発を加速させるAI技術「Tyre Leap AI Analysis」を確立

【出典】 各社ニュースリリースより文部科学省作成

マテリアルズ・インフォマティクス (MI) の主要国動向

国・地域	MI関連プロジェクト・機関
米国	<ul style="list-style-type: none">• “Materials Project” シミュレーションによるデータ蓄積や機械学習オンラインツールを用いて材料スクリーニングを可能にすることを目指す。開発されたオンラインツールやデータベースは、その利便性から世界中で広く使用されている。MITのグループ（現在は UC Berkeley）とローレンス・バークレー国立研究所等。• “CHiMaD” (Center for Hierarchical Materials Design) 2019年に5年間の継続を決定。構造材料を中心に、結晶構造から材料組織までのマルチスケールを、プロセス、材料組織との関係も含め、データから相関を統合。ノースウェスタン大学、シカゴ大学を中心とし、熱力学・状態図計算など、ニーズに合わせて速度論のシミュレーションを行って材料特性の予測、材料開発の支援を実施。• “HTE-MC” (High-Throughput Experimental Materials Collaboratoly) 前頁参照• “MaRDaC” (Materials Research Data Council) (2019.11-) オープン・アクセス・相互運用可能な材料データを実現することを目的として設立された「材料研究データアライアンス (MaRDa)」の運営委員会として位置付け。
EU	<ul style="list-style-type: none">• “FAIR-DI” (FAIR Data Infrastructure for Physics, Chemistry, Materials Science, and Astronomy e.V)” ドイツ・オランダを中心とする研究機関連携が母体。Horizon2020で2015年から実施するNOMADを軸に、バイオ・天文学とも横串を指す形で FAIR原則に従うデータ管理の実現と、そのための世界的なデータインフラストラクチャーの構築を目指す。2020年に3年間の継続投資を決定。• “MAterials design at the eXascale (MAX) a European centre of excellence” エクサスケールHPCインフラに焦点。5箇所のHPCリソースをネットワークし、データ管理プラットフォーム、Materials Cloudを運用。スイスEPFLが中核。• “EMMC” (European Materials Modeling Council) 材料分野で企業をカスタマーとするデータ市場の立ち上げを掲げ、市場でデータを流通させるために必要な共通記述様式の策定を進めてきた。2018年にロードマップをまとめて Horizon2020プロジェクトを終了したが、2019年7月に非営利法人化してその後も活動を継続。• “OPTIMADE” データ入出力結果へのアクセスを全てAPI化し、そのAPIの仕様を標準化する、コミュニティ主導で進められている活動。
中国	<ul style="list-style-type: none">• Shanghai Materials Genome Institute (2014-) 上海市と研究所と北京科技大学が共同を設立。• マテリアルズゲノム連合研究センター (2016-) 上海交通大学に設立。上海大学が共同で設立。• 北京マテリアルズゲノム工学イノベーション連盟 (2016-) 中国科学院物理
韓国	<ul style="list-style-type: none">• “Creative Materials Discovery Project” 2015年から10年計画で開始。• “MIDAS” (Materials Informatics Database for Advanced Search) 韓国科学技術研究所 (KIST) に設置。

4 . 重要技術領域

(2) 製造プロセス技術

ポテンシャル：産業 ~ マテリアル×プロセス技術で数多くのイノベーション

日本から生まれた、革新的なデバイスのイノベーションは、**先進的な材料開発とそれを活用するためのプロセス技術開発を両輪として推進**することで実現されている事例が多い。

材料開発



プロセス技術開発



マテリアル・イノベーション

材料開発と製造・成形・加工プロセスの開発を同時進行することが重要。材料の調整と加工プロセスの擦り合わせに要するノウハウが、暗黙知として材料メーカーに蓄積され、産業競争力の高い技術・製品を開発。川下ユーザーとの垂直連携をうまく機能させることも重要（光ディスクの記録媒体の製造工程、偏光フィルムやTACフィルムといったフィルム材料など）。



https://www.iza.n
e.jp/kiji/より転載



https://www.excite.
co.jp/news/より転載

高成形性超ハイテン：

< 組成制御×プロセス技術 >

国内鉄鋼メーカー各社が2000年前後から開発を加速。両立が困難な「高強度」と「良加工性」を、組成×制御冷却・熱処理のプロセス技術管理を通じて自在に制御可能に。



イノベーション

・自動車等の軽量化、高強度化

青色LEDの事例：

< 優れた研究シーズ >

1980年代、天野浩教授、赤崎勇教授がGaN（窒化ガリウム）材料に関する論文発表。



< プロセス開発 + 研究開発投資 >

中村修二日亜化学研究員（当時）の材料やプロセス技術の研究によりLED発光輝度の飛躍的な向上。



イノベーション

・レーザー開発、光源の代替、省エネ化、LEDディスプレイ

ポテンシャル：産業 ～ 模倣困難な製造技術を伴う材料は強い

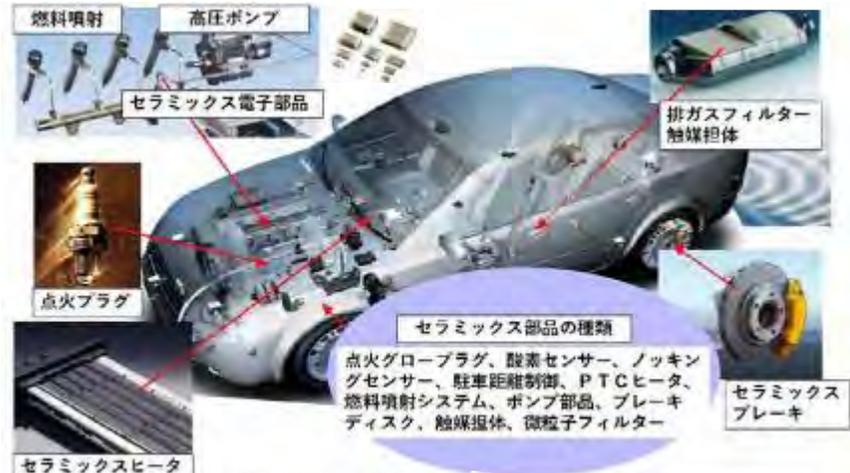
製造プロセスが複雑で模倣困難なファインセラミックス部材産業は近年堅調に成長し、2019年国内生産額は約3兆円。日本のシェアは世界の約4割を占める。

ファインセラミックス部材の国内生産総額推移



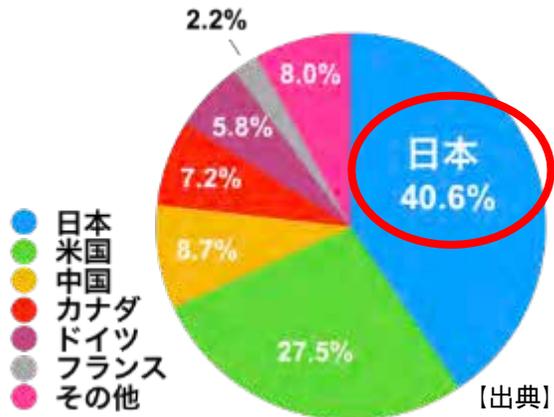
【出典】ファインセラミックス協会、産業動向調査、2019年
作成資料を基に経済産業省作成

最新電気自動車(EV)には、7,000～10,000個の電子セラミックス部材が搭載され、今後、さらに市場が拡大することが予想されている。



【出典】Institute for Applied Material, Ceramics in Mechanical Engineering
作成資料を基に経済産業省作成

ファインセラミックス産業の2018年国別市場規模



【出典】富士経済、2019年8月
作成資料を基に経済産業省作成

自動車向け積層セラミックコンデンサ(MLCC)の2017年度シェアと市場規模予想



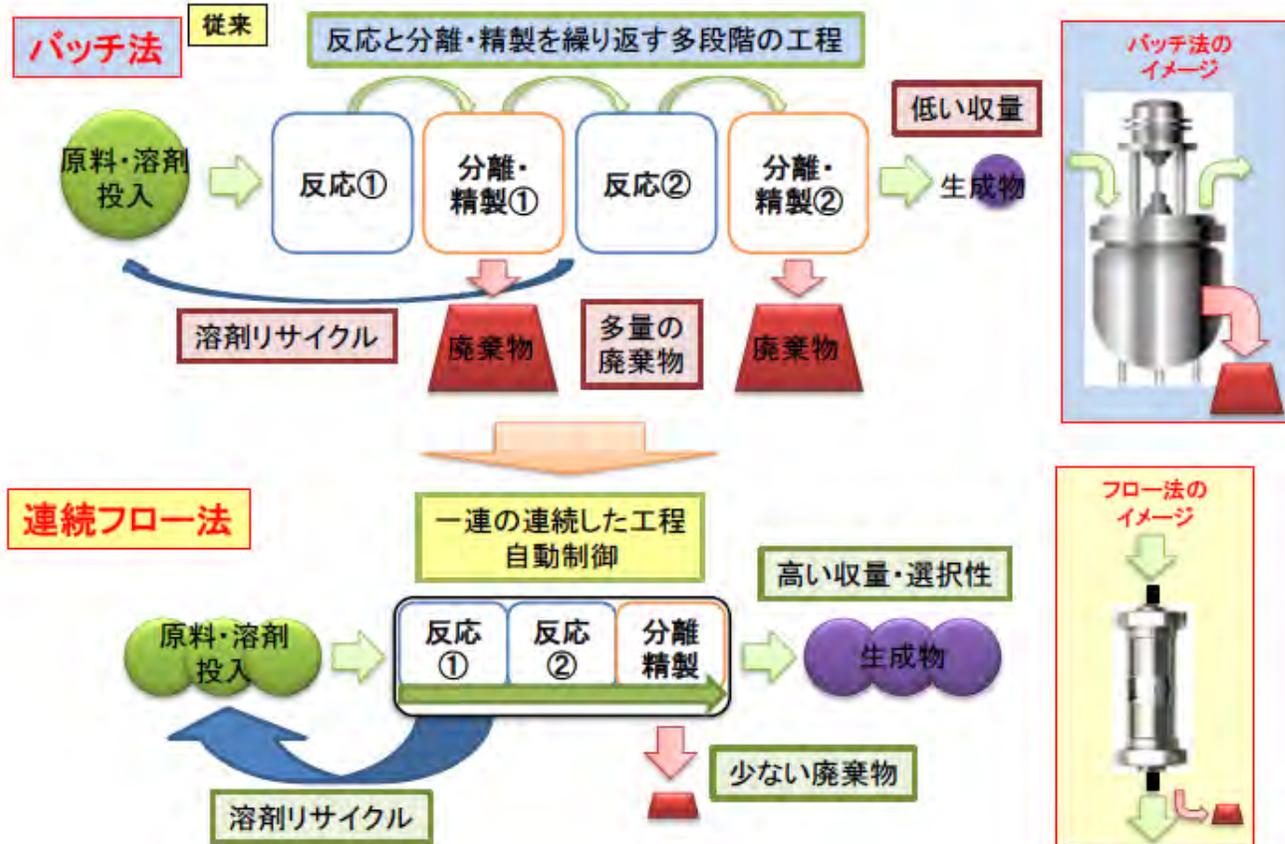
【出典】週刊ダイヤモンド 2018.10.19

ポテンシャル：産業 ~ プロセスイノベーションの可能性

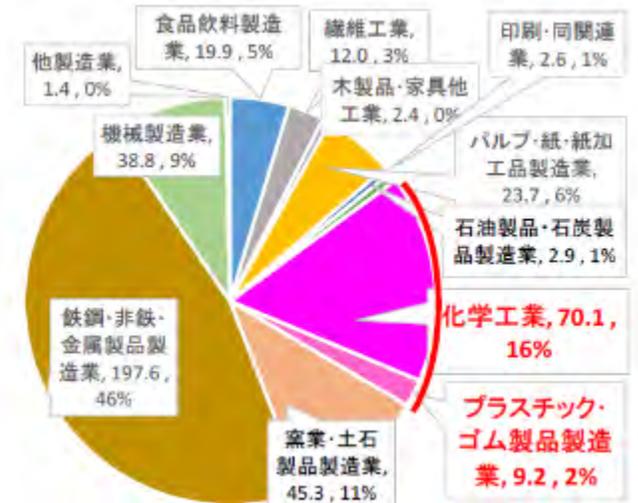
高性能・高品質の製品安定供給を主としたこれまでの日本モデルが限界を迎えている中、従来の強みを生かし、且つ、**循環型社会、サプライチェーンの強靱化、ニーズの多様化に対応した革新プロセス技術の開発と迅速な社会実装が重要**である。

機能性化学品：従来のバッチ法から連続フロー法への転換により期待される効果

- 廃棄物、CO2排出量を大幅削減
- 少量多品種、オンデマンド製造の実現
- コスト競争力強化による、医薬・農薬中間体及び電子材料等製造の国内回帰能



化学産業のCO₂排出量は、製造業の中で鉄鋼業に次ぐ割合



(電気・熱配分後 [間接排出量]、単位：百万トン)

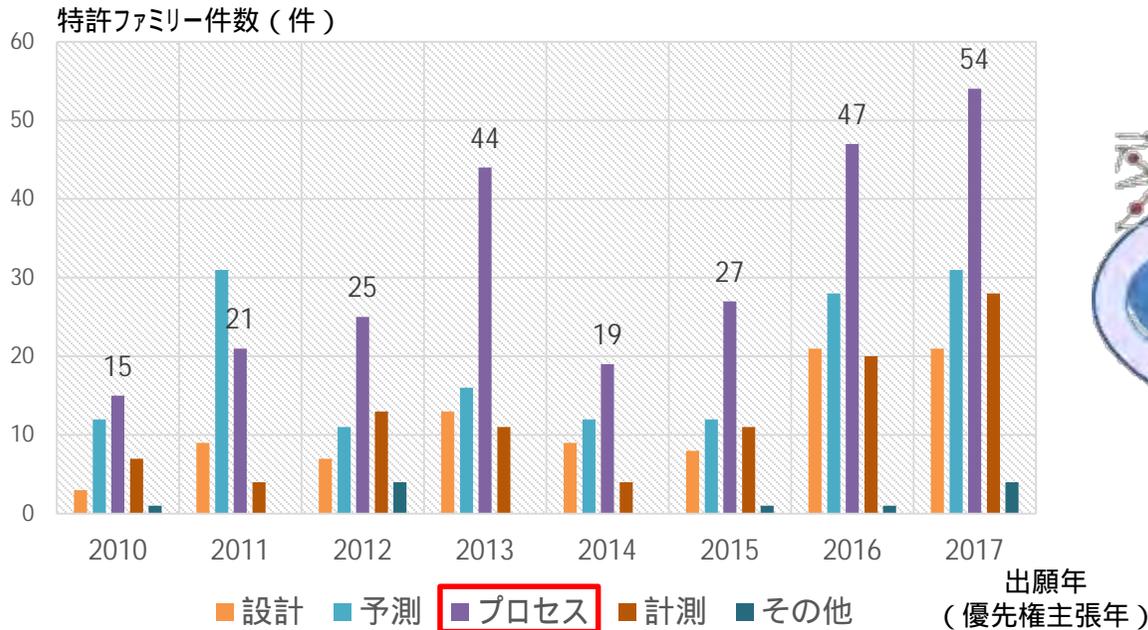
出典：国立環境研究所HPを基にNEDO 技術戦略研究センター作成 (2018)

ポテンシャル：産業 ～ プロセスインフォマティクスの重要性

マテリアル分野でもDXが進行しており、従来サイエンスとして扱われていなかったプロセス過程について、試行錯誤や摺り合わせ等の暗黙知化されたノウハウを、データとして取得・解析（プロセス・インフォマティクス）し、社会実装を簡略化するための取組が必要。

特許ファミリー件数の推移

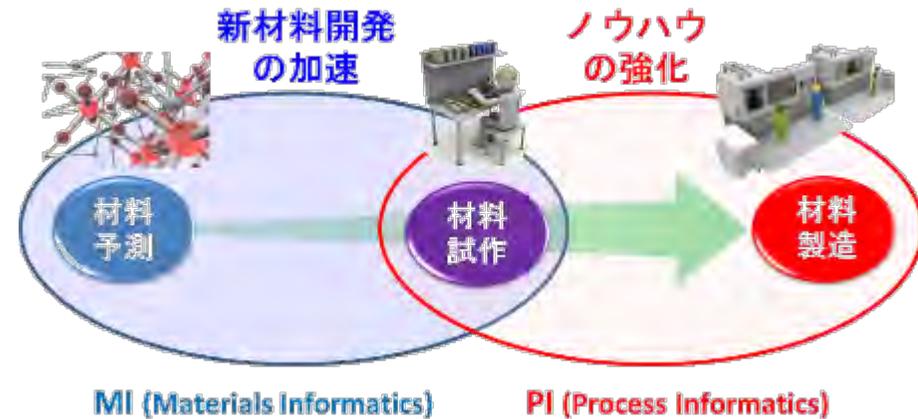
（出願先：日米欧中韓印 出願年：2010-2017年（優先権主張年））



【出典】特許庁「令和元年度特許出願技術動向調査結果概要マテリアルズ・インフォマティクス」（2020）より経済産業省にて作成

データ駆動型材料研究開発における特許ファミリー件数は、技術区分別（設計、予測、プロセス、計測、その他）にみると、「プロセス」が最も多く、増加傾向にある状況

データ駆動型材料開発技術



MI活用による材料開発を発展させ、競争力の源泉である暗黙知化されたノウハウを、共有・体系化することで、短期間でプロセスの高度化、社会実装を実現